

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Выбор типа и конструкции водоприемных сооружений зависит от местных природных условий в значительно большей степени, чем у всех остальных сооружений системы водоснабжения. Основное влияние на устройство водоприемников оказывает характер используемых природных источников воды: гидрологические характеристики открытых водоемов, условия залегания подземных вод (глубина, характер водоносных пластов и т. п.).

Как и для выбора источника водоснабжения, для правильного решения задачи проектирования и строительства водоприемных сооружений необходимо проведение обширных и детальных изысканий: гидрологических, геологических, гидрогеологических и т. д. Эти изыскания должны дать не только уверенность в возможности бесперебойного получения из выбранного источника требуемых количеств воды, но и все необходимые сведения для проектирования водоприемных сооружений.

В соответствии с двумя категориями природных источников воды все водоприемные сооружения могут быть разделены на две основные группы: сооружения для приема воды из поверхностных источников и сооружения для приема подземных вод¹.

Глава 13

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИЕМА ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

§ 55. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Как уже было сказано, к поверхностным источникам, используемым для целей водоснабжения, относятся реки (в естественном или зарегулированном состоянии), озера и в отдельных случаях моря.

В практике водоснабжения наиболее часто используемыми поверхностными источниками являются реки. На выбор типа речных водоприемников влияют: амплитуда колебаний уровня воды, ледовые условия, топография берега и дна реки в месте водозабора, характер грунтов и др. Разнообразие местных природных условий — гидрологических, геологических, топографических — в сочетании с различными количествами забираемой воды обуславливает и весьма большое разнообразие типов и конструкций водоприемных сооружений.

Для правильного решения задачи проектирования речных водоприемников требуется детальное изучение гидрологического режима реки (анализ результатов многолетних наблюдений и постановка специальных гидрологических изысканий), а также проведение геологических и топографических изысканий. В ряде случаев при проектировании крупных и ответственных водоприемных сооружений приходится прибегать к методам моделирования и изучать режим работы будущего сооружения на моделях в лабораторных условиях.

¹ Основные сведения по гидрологии открытых водоемов излагаются в курсе «Гидрология и гидротехнические сооружения» М. Н. Грацианского и Ю. В. Александровского. «Высшая школа», 1961. Сведения по гидрогеологии сообщаются в курсе «Геология и гидрогеология» Н. Я. Денисова, М., Стройиздат, 1957.

Речные водоприемники должны быть запроектированы так, чтобы их расположение и форма обеспечивали плавное обтекание сооружений и наименьшее стеснение русла реки: они не должны вызывать переформирования русла.

Специфические особенности имеются в проектировании и устройстве водоприемников на реках с зарегулированным стоком.

Весьма ответственной задачей является выбор места расположения водоприемника, которое должно удовлетворять следующим основным условиям:

- а) обеспечивать возможность применения наиболее простого и дешевого способа забора воды из источника;
- б) гарантировать бесперебойность получения требуемых количеств воды;

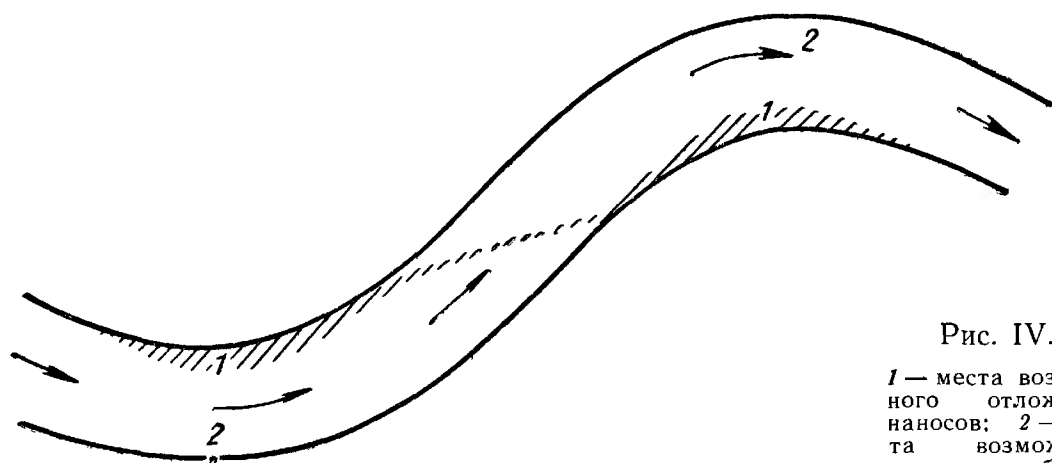


Рис. IV.1

1 — места возможного отложения наносов; 2 — места возможного размыва берегов

- в) обеспечивать прием возможно более чистой воды;

- г) находиться как можно ближе к снабжаемому водой объекту (для уменьшения стоимости водоводов и подачи воды).

Речные водоприемники должны располагаться выше по течению от мест сброса в реку сточных вод, а также от мест выходов оврагов. Особенно строгие требования предъявляются к местам расположения водоприемников систем водоснабжения населенных мест. Место расположения таких водоприемников должно быть согласовано с органами санитарного надзора и должно обеспечивать возможность организации зоны санитарной охраны.

Речные водоприемники следует располагать в тех местах русла реки, в которых, с одной стороны, не наблюдается интенсивного осаждения наносов и, с другой стороны, не происходит разрушения берега в результате осыпей и оползней. Наиболее интенсивное отложение наносов обычно происходит у выпуклого берега реки, поэтому здесь водоприемники располагать не следует. Прямые участки реки также не создают надежных условий для работы водоприемника, так как на этих участках нередко образуются перекаты.

Наиболее благоприятны для расположения водоприемников вогнутые берега реки (рис. IV.1), где отложения наносов не происходит. Однако вогнутые берега часто подвергаются размыву водами реки, в связи с чем устройство водоприемника здесь должно сопровождаться проведением берегоукрепительных работ.

При выборе места расположения водоприемника должны также учитываться ледовые условия реки. Водоприемники не следует располагать в местах возможного образования ледяных заторов, шугозажоров, а также в зонах интенсивного образования внутриводного льда.

Располагать водоприемник следует в местах, где необходимая для забора воды надлежащего качества глубина находится относительно близко от берега.

Не следует располагать водоприемные сооружения в нижних бьефах ГЭС вблизи гидроузла.

На судоходных и лесосплавных реках водоприемные сооружения должны располагаться вне зоны движения судов или плотов. При устройстве водоприемников на судоходных реках место их расположения и конструкция должны быть согласованы с соответствующими организациями водного транспорта.

Весьма существен при выборе места расположения водоприемных сооружений учет геологических и гидрогеологических условий, в том числе сейсмической характеристики района и возможности оползневых явлений.

Правильный выбор места расположения водоприемного сооружения может быть осуществлен лишь на основе тщательного изучения всех местных природных условий и комплексного их учета.

§ 56. КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЧНЫХ ВОДОПРИЕМНИКОВ

Установившейся и общепринятой классификации водоприемных сооружений в настоящее время не существует.

Большое разнообразие природных условий и обилие методов решения задачи водоприема обуславливают наличие большого числа признаков, по которым могут быть классифицированы речные водоприемные сооружения.

Водоприем может осуществляться из рек в их естественном состоянии или из зарегулированных рек. В последнем случае вода забирается из образованных на реке водохранилищ. В отдельных случаях водохранилища создаются специально для нужд водоснабжения (обычно для крупных промышленных предприятий, потребности которых в воде превышают величину речного стока в маловодные периоды года). Чаще для целей водоснабжения используются водохранилища, образованные при строительстве гидростанций. Условия приема воды из водохранилищ имеют ряд особенностей, которые влияют на тип и оборудование водоприемников. При проектировании и строительстве водоприемных сооружений на водоемах рыбохозяйственного значения должны быть предусмотрены все мероприятия и устройства по рыбоохране.

Иногда водоприем требует проведения в русле реки регулиционных работ для улучшения условий забора воды, а также устройства водоподъемных плотин для увеличения глубины в месте водоприема. Как в этом случае, так и в случае устройства водохранилищ водоприемные сооружения могут быть возведены отдельно от плотин или конструктивно объединены с ними. Так возникает особый тип водоприемников, конструктивно объединенных с речными гидротехническими сооружениями.

При наличии вблизи берега глубин, обеспечивающих требуемые условия забора воды, и при относительно крутом берегу применяются **водоприемники берегового типа**. Их располагают на склоне берега с приемом воды непосредственно из русла реки. При этом насосы первого подъема могут быть расположены в отдельном здании насосной станции или в самом водоприемнике. Этим определяются соответственно два вида водоприемников берегового типа — **раздельный** и **совмещенный** (см. далее рис. IV.2 и IV.3).

Если требуемые для приема воды глубины могут быть найдены толь-

ко на значительном расстоянии от берега (что обычно имеет место при малых уклонах берега и дна реки), используются **водоприемники руслового типа**. В месте забора воды из реки в ее русле устраивается приемный оголовок; от него вода подается по трубам к береговому колодцу (см. далее рис. IV.13). При этом, как и у водоприемников берегового типа, насосная станция может быть устроена отдельно или конструктивно объединена с береговым колодцем.

В отдельных случаях устраивают незатопляемый оголовок, представляющий собой своеобразное сооружение островного типа (часто называемое «крибом»), вынесенное в русло реки. Иногда в такой оголовке устанавливают насосы, передающие воду на берег по напорным трубам.

В ряде случаев для улучшения условий приема воды ее забирают не непосредственно из русла реки, а из искусственно созданных заливов — ковшей (см. § 61). Устройство ковшей позволяет снизить количество взвешенных наносов в воде, забираемой насосами, а также успешно бороться с внутриводным льдом и шугой.

В тех случаях, когда речная вода сильно загрязнена, находят применение **водоприемники инфильтрационного типа**, забирающие речную воду, профильтровавшуюся через грунт дна и берега реки (см. § 74).

Своеобразным типом водоприемных устройств являются **передвижные водоприемники** (совмещенные с насосной установкой), отметка расположения которых может изменяться в соответствии с изменением уровня воды в реке. Эти водоприемники (насосные установки) позволяют всегда осуществлять забор воды при малой и постоянной высоте всасывания. Их устраивают плавучими или фуникулерного типа (см. § 60).

Приведенный классификационный обзор основных принципиальных типов речных водоприемных сооружений не охватывает все их действительное многообразие, обусловленное, как сказано, исключительным разнообразием местных природных условий, весьма сильно влияющих именно на этот вид водопроводных сооружений.

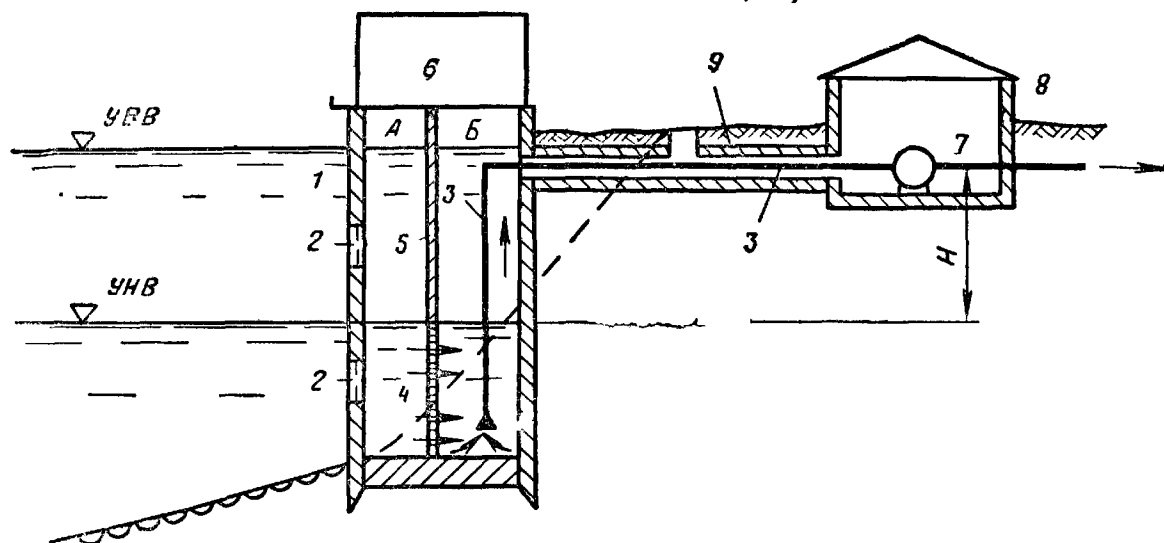
§ 57. РЕЧНЫЕ ВОДОПРИЕМНИКИ БЕРЕГОВОГО ТИПА

Раздельный водоприемник берегового типа (рис. IV.2) представляет собой колодец 1, обычно железобетонный, передняя стенка которого выходит непосредственно в русло реки. Вода поступает в водоприемник через входные окна 2, расположенные в передней стенке колодца, и забирается насосами через всасывающие трубы 3.

Обычно в речных водоприемниках осуществляется предварительная грубая механическая очистка воды. В этих целях входные окна снабжаются решетками, предотвращающими занесение внутрь водоприемника относительно крупных предметов. Кроме того, на пути от входных окон к всасывающим трубам вода проходит через сетки 4, установленные в перегородке 5, разделяющей водоприемный колодец на два отделения: переднее (приемное) А и заднее (всасывающее) Б. На сетках задерживается значительная часть загрязнений, содержащихся в воде: планктон, водоросли, мелкий сор и т. д. Подобная механическая очистка (процеживание) воды значительно облегчает работу сооружений для осветления воды, предотвращает возможное засорение труб и насосов, а в ряде случаев в системах производственного водоснабжения дает возможность использовать воду без какой-либо дополнительной очистки.

Над водоприемным колодезем устраивается служебный павильон 6, из которого осуществляются управление арматурой и механизмом очистки сеток, а также другие операции, связанные с эксплуатацией водоприемных сооружений.

Продольный разрез



План

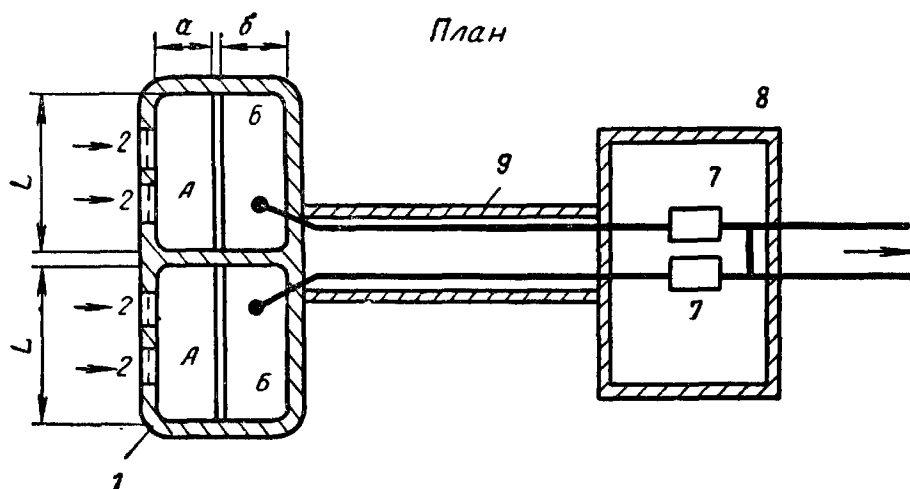


Рис. IV.2

Вода, прошедшая через сетки, забирается насосами 7 через всасывающие трубы 3. Устройство насосной станции в отдельно стоящем здании 8 может быть обусловлено геологическими условиями, характером рельефа берега и степенью его затопления паводковыми водами.

Для обеспечения лучших условий всасывания желательно располагать станцию возможно ближе к водоприемнику.

Характер здания насосной станции, необходимость и степень ее заглубления зависят от амплитуды колебаний уровня воды в реке и допустимой высоты всасывания насосов. Отметка оси насосов определяется отметкой низкого расчетного уровня воды в реке и допустимой высотой всасывания насосов (с учетом потерь напора во всасывающих линиях).

В целях обеспечения большей надежности и улучшения условий эксплуатации сооружения следует, как правило, устанавливать насосы под заливом, т.е. ниже минимального расчетного уровня воды в реке.

Всасывающие трубы 3 для защиты от повреждений и для облегчения их осмотра и ремонта иногда располагают в специальной галерее 9. Водоприемный колодез обычно разделяется продольными перего-

родками на несколько параллельно (и независимо) работающих секций (по числу насосов) (в водоприемнике, показанном на рис. IV.2, таких секций две). Это обеспечивает бесперебойность работы водоприемника и позволяет осуществлять периодическую очистку и ремонт водоприемника без прекращения подачи воды.

При благоприятных геологических, топографических и гидрологических условиях целесообразно устройство совмещенных водоприемни-

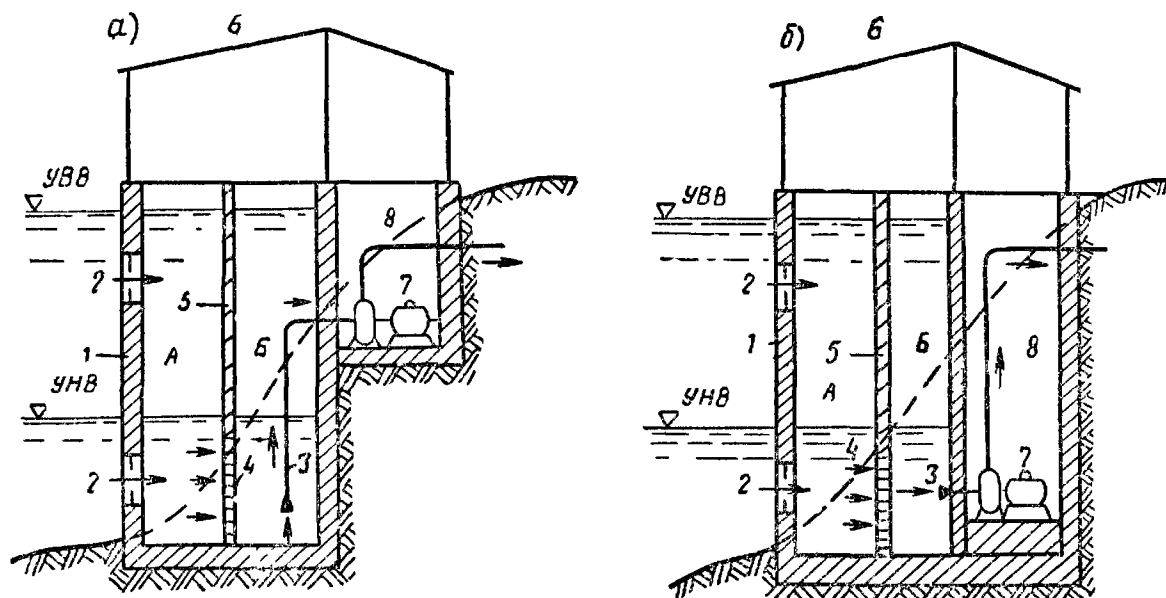


Рис. IV.3

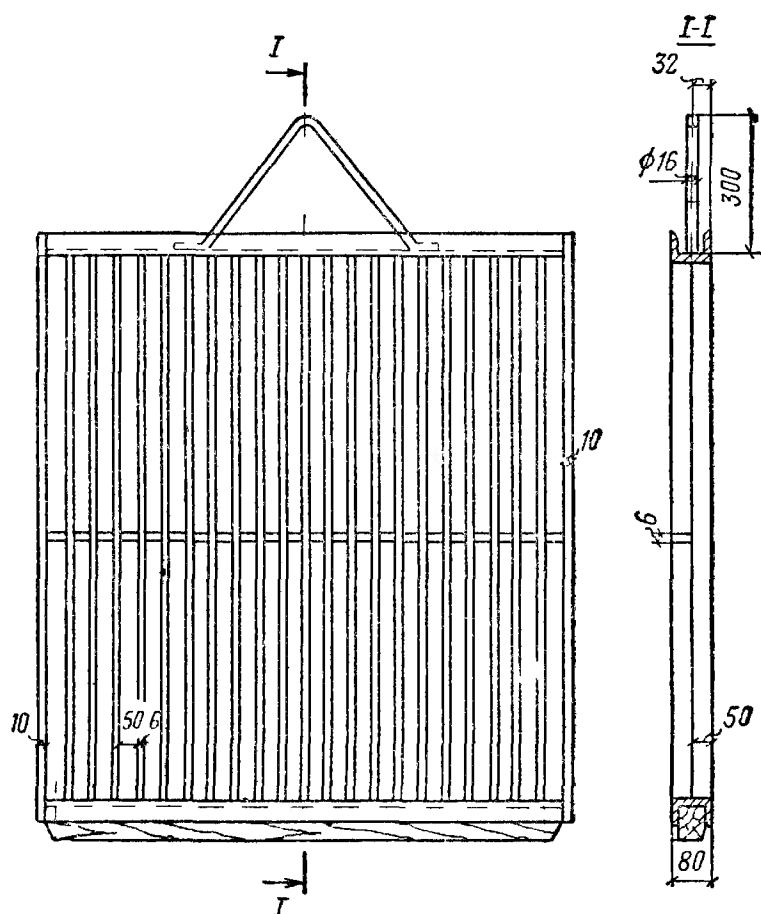


Рис. IV.4

ков. Благодаря своей относительной экономичности эти водоприемники имеют значительно большее распространение, чем отдельные водоприемники. Основные принципиальные схемы таких водоприемников показаны на рис. IV.3 (обозначения те же, что и на рис. IV.2). Здание станции может примыкать к водоприемному колодцу (рис. IV.3, а) или

может быть конструктивно полностью объединено с водоприемником (рис. IV.3, б и в). При первой схеме уменьшается общий объем сооружения, но применение ее возможно лишь при наличии достаточно плотных грунтов. Схема, показанная на рис. IV.3, б, практически приемлема при любых грунтах, но вызывает увеличение объема сооружения. Применение вертикальных центробежных насосов (рис. IV.3, в) позволяет уменьшить объем сооружения. При схемах, показанных на рис. IV.3, б и в, требуется устройство внутри водоприемника водонепроницаемых камер для установки насосов. Схема, приведенная на рис. IV.3, в, предусматривает применение вертикальных насосов с удлинненным валом, позволяющим устанавливать электродвигатели в верхнем павильоне водоприемника. При схемах, показанных на рис. IV.3, б и в, возможно обеспечение работы насосов под заливом даже при самых низких уровнях воды.

Водоприемники берегового типа могут иметь в плане круглую, эллипсоидальную или прямоугольную форму, выбираемую в зависимости от места расположения водоприемника, условий обтекания его водами реки, условий производства работ по его сооружению и от используемого оборудования насосной станции.

Размеры водоприемника, его основных элементов и оборудования (сеток, решеток, труб и т. д.) определяют частично путем гидравлического расчета и частично по соображениям конструктивного и эксплуатационного характера. Кроме того, водоприемник должен быть проверен на действие сил давления воды, льда и грунта (на всплывание, на опрокидывание, на сдвиг), а также на прочность при действии заданных нагрузок.

Основой для гидравлического расчета водоприемника является заданная расчетная производительность сооружения. Общее расчетное количество забираемой воды в свою очередь влияет на выбор типа, оборудования и конструкции водоприемника.

Независимо от типа водоприемника его проектирование производится в тесной увязке с проектированием насосной станции и подбором насосного оборудования. Это позволяет наиболее рационально выбрать число насосных агрегатов и установить число секций водоприемника (по фронту).

По заданной производительности (полной и на одну секцию) и рекомендуемым скоростям могут быть путем гидравлического расчета определены размеры входных окон, площади сеток, величины потерь напора в решетках и сетках, а также диаметры всасывающих труб. Суммарная площадь Ω (в м^2) входных окон (брутто) для каждой секции водоприемника, рассчитанной на пропуск расхода воды Q (в $\text{м}^3/\text{с}$), определяется по расчетной скорости входа воды с учетом стеснения живого сечения потока решеткой (коэффициент a_1) и засорения решетки в процессе эксплуатации (коэффициент a_2). Тогда соотношение между расходом Q , площадью Ω и скоростью v может быть выражено по формуле

$$Q = \mu(a_1 a_2 \Omega) v,$$

где μ — коэффициент расхода;

v — расчетная средняя скорость движения воды в отверстиях решетки в $\text{м}/\text{с}$; для водоприемников берегового типа СНиП II-Г.3-62 рекомендуют принимать скорость v в пределах 0,4—1 $\text{м}/\text{с}$ (меньшие скорости при большей мутности и шугоносности).

Отсюда площадь окон (брутто)

$$\Omega = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{a_1} \cdot \frac{1}{a_2} \cdot \frac{Q}{v},$$

или

$$\Omega = k_1 k_2 k_3 \frac{Q^*}{v}.$$

Коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 принимаются в зависимости от типа и конструкции решеток и условий их эксплуатации.

Решетки, перекрывающие входные окна, обычно выполняют из металлических вертикальных стержней круглого или прямоугольного сечения. Для возможности очистки решетки следует делать съемными.

На рис. IV.4 в качестве примера показана съемная решетка из полосовой стали. Решетка устанавливается в направляющих из вертикально поставленных швеллеров (перекрывая проем входного окна с внешней стороны) и может быть поднята для очистки на балкон служебного павильона с помощью простейших грузоподъемных устройств¹.

В реках, где образуется глубинный лед или шуга, в целях борьбы с обледенением и закупоркой решеток применяют обогрев их электрическим током. Обычно для защиты решеток от обмерзания достаточен даже небольшой нагрев их (до плюс 0,01—0,02° С).

Для принятого типа решетки могут быть определены значения коэффициентов k , входящих в приведенную выше расчетную формулу. Коэффициент k_1 при стержнях круглого сечения принимается равным 1,1, при стержнях прямоугольного сечения равным 1,25. Коэффициент k_2 равен $(a+d)/a$, где a — расстояние между стержнями решетки (в свету); d — диаметр стержня круглого сечения (или ширина поперечного сечения стержня прямоугольного профиля). При обычных значениях a (40—50 мм) и d (10 мм) коэффициент $k_2=1,25—1,20$. Коэффициент засорения решеток (водорослями и мусором) $k_3=1,25$.

По приведенной выше формуле может быть определена лишь общая площадь входных окон, приходящаяся на одну секцию водоприемника. Число и размеры входных окон назначают с учетом ряда эксплуатационных и конструктивных соображений. Так, размеры окон назначают с таким расчетом, чтобы решетки имели относительно небольшой вес и были удобны для подъема (высота их должна быть больше ширины).

При значительном колебании уровня воды в реке входные окна водоприемников часто располагают в два яруса, с тем чтобы всегда можно было получать возможно более чистую воду. Низ окон в целях уменьшения количества вовлекаемых насосов располагают не менее чем на 0,5 м выше дна реки. Верх окон во избежание их обмерзания располагают не менее чем на 0,2 м ниже нижней кромки льда при наинизшем уровне ледостава и не менее чем на 0,3 м ниже низкого расчетного уровня воды.

Сетки, через которые проходит вода, поступающая из приемного отделения во всасывающее, могут быть двух типов — плоские (подъемные) и вращающиеся. Расчетную (рабочую) площадь сеток можно определять по формуле, приведенной для расчета входных окон с решетками, но при иных значениях расчетных коэффициентов и скоростей, а именно:

* В таком виде эта формула приведена в СНиП II-Г.3-62.

¹ Конструкции решеток и сеток различных типов, а также другого оборудования водоприемников описываются в «Справочнике по специальным работам. Трубы, арматура и оборудование водопроводно-канализационных, сооружений». Под ред. А. С. Москвитина. М., Стройиздат. 1970.

$$k_1 = 1,15 - 1,25;$$

$$k_2 = \left(\frac{a+d}{a} \right)^2 (1+p),$$

где a — размер ячейки сетки в свету;
 d — диаметр проволоки;
 p — часть общей площади, занятая опорными рамами и конструкциями.

Коэффициент k_3 для плоских сеток принимается равным 1,5, для вращающихся сеток — 1,2.

Согласно указаниям строительных норм наибольшую расчетную скорость прохождения воды через отверстия плоских сеток рекомендуется принимать равной 0,2—0,4 м/с, через отверстия вращающихся сеток — 0,8—1,2 м/с.

Плоская (подъемная) сетка представляет собой проволочное полотно, натянутое на стальную раму. Иногда сетка состоит из двух наложенных друг на друга полотен. Одно полотно делается из проволоки диаметром 1—1,5 мм с ячейками от 2×2 до 5×5 мм, другое — из более толстой проволоки (2—3 мм) с ячейками 20×20 или 25×25 мм. Это полотно исключает возможность прорывов первого полотна давлением воды при загрязнении сетки. Размеры подъемных сеток колеблются в широких пределах (как ширина, так и высота примерно от 0,8 до 2 м). Подъемные сетки располагают у проемов в нижней части поперечной перегородки в направляющих (пазах) из швеллеров и периодически поднимают для очистки в служебный павильон над водоприемным колодцем. Обычно поднятую сетку заменяют запасной. Для удобства замены сеток устраивают двойные пазы.

Конструкция плоской подъемной сетки показана на рис. IV.5.

Вращающаяся (ленточная) сетка представляет собой непрерывное проволочное полотно, перекинутое через два расположенных один над другим горизонтальных барабана¹ (рис. IV.6). Полотно состоит из отдельных секций (металлических рамок), шарнирно соединенных между собой. Каждая рамка затянута сеткой из тонкой проволоки (медной, латунной или из нержавеющей стали) диаметром 0,2—0,4 мм с ячейками от 0,3×0,3 до 2×2 мм. Вращение сетки осуществляется при помощи электродвигателя.

Если процеживание воды обеспечивает достаточную степень ее очистки для производственных потребителей, размеры ячеек сеток следует принимать в соответствии с требованиями к качеству используемой воды. Чем выше эти требования, тем меньше должны быть ячейки сеток.

Многочисленные конструкции вращающихся сеток могут быть отнесены к трем основным типам (рис. IV.7).

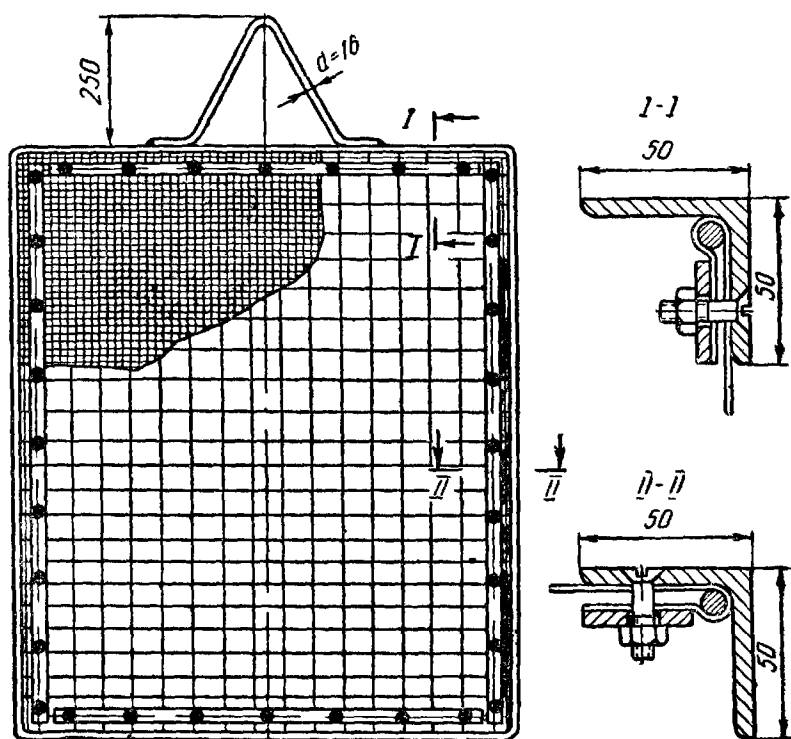


Рис. IV.5

¹ В некоторых конструкциях сеток имеется только один (верхний) барабан.

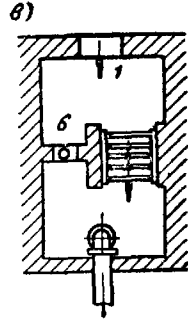
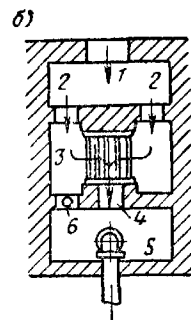
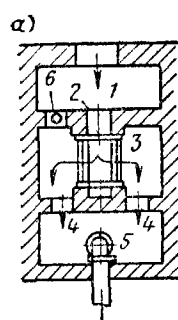
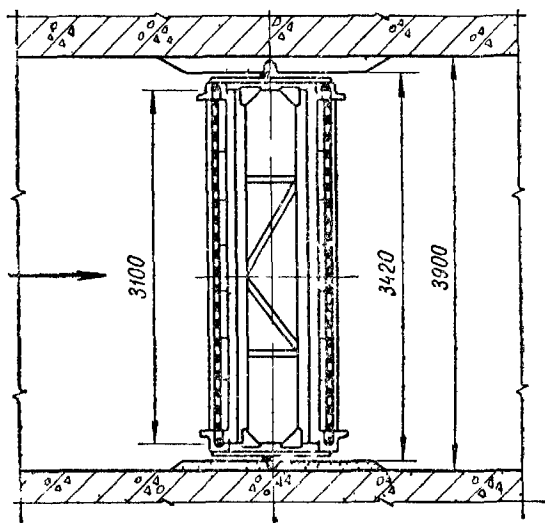
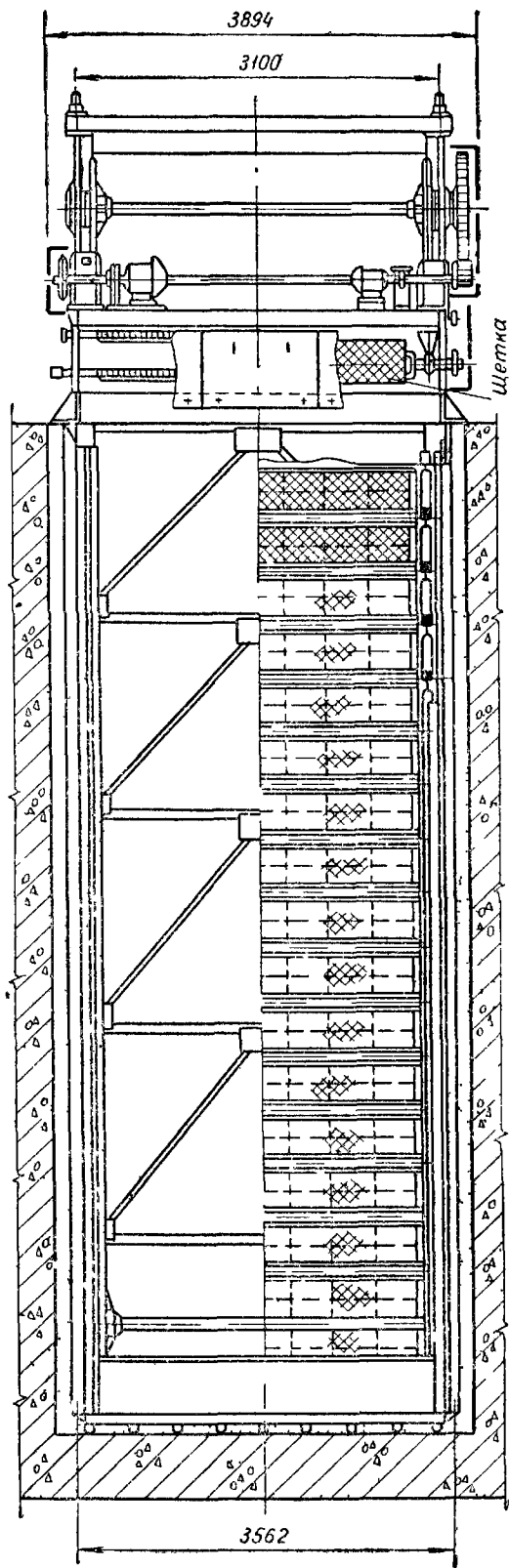
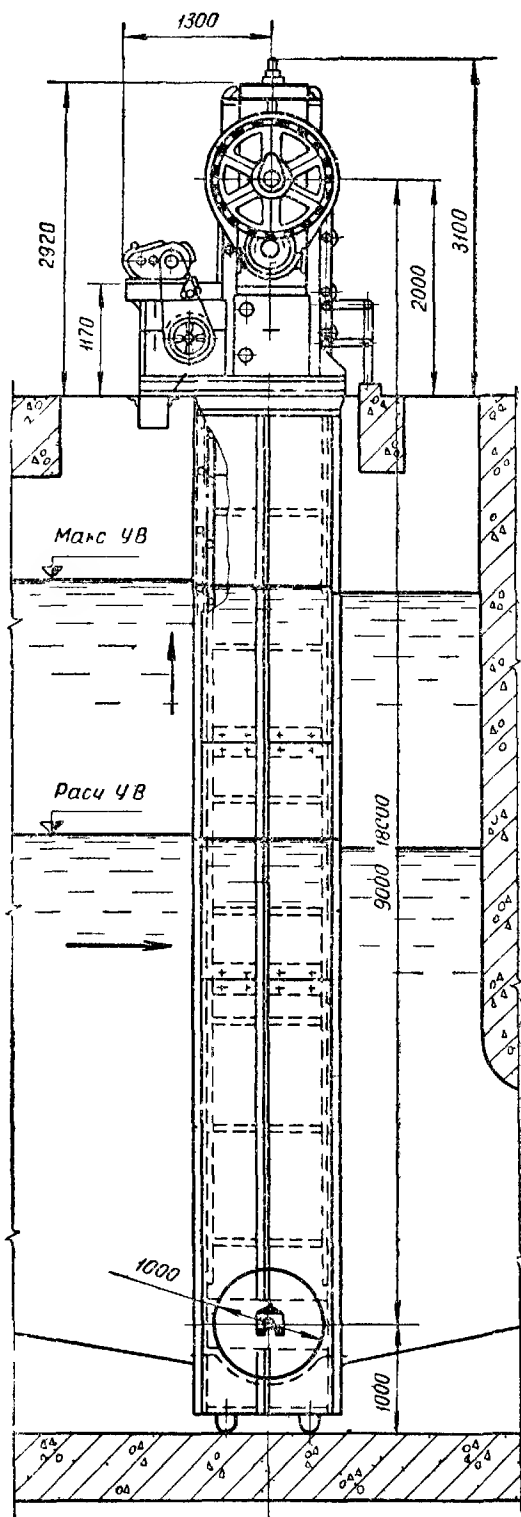


Рис IV 6

Рис. IV.7

На рис. IV.7, а показана принципиальная схема установки вращающейся сетки с внутренним подводом и внешним отводом воды. Здесь вода из приемной камеры 1 через окно 2 поступает внутрь сетки, которая установлена посередине сеточной камеры 3, процеживается через оба поля движущегося полотна сетки и через проемы 4 направляется в камеру 5, куда опущены концы всасывающих труб насосов. В целях предотвращения прорыва сетки давлением воды (при ее значительном загрязнении) предусмотрена возможность открытия аварийного окна 6. Иногда предусматривается автоматическое открытие окна при возрастании разности давлений (или уровней воды) перед и за сеткой.

На рис. IV.7, б показана принципиальная схема установки вращающейся сетки с внешним подводом и внутренним отводом воды. Здесь вода из приемной камеры 1 через окна 2 поступает в сеточную камеру 3, проходит через внешнюю сторону полотна сетки внутрь ее и отводится через проем 4 в камеру 5, откуда забирается насосами. Сетка промывается водой через spryski смонтированной внутри нее промывочной трубы.

Применение вращающихся сеток как с внутренним, так и с внешним подводом воды требует некоторого увеличения размеров водоприемных сооружений в плане.

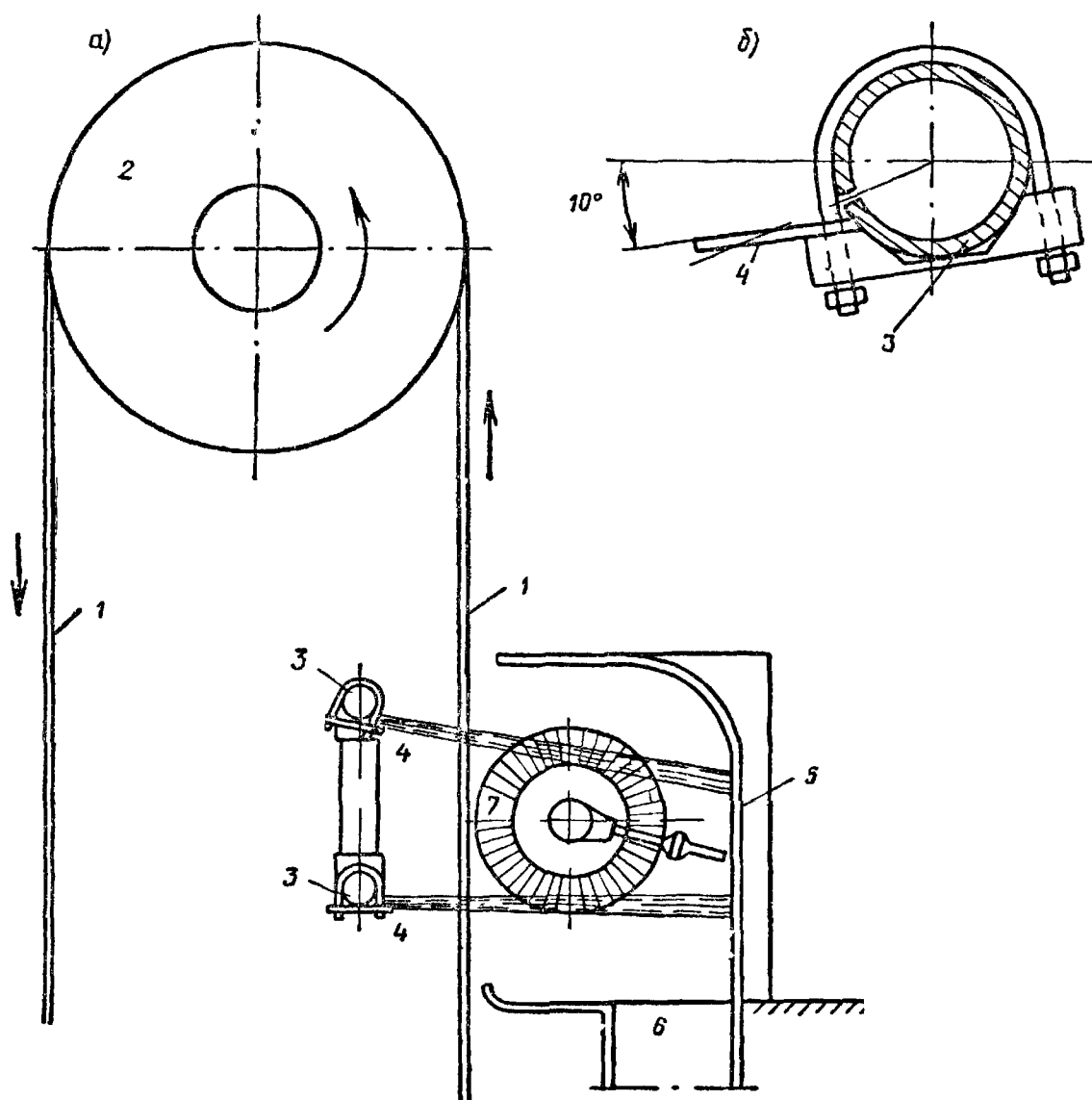
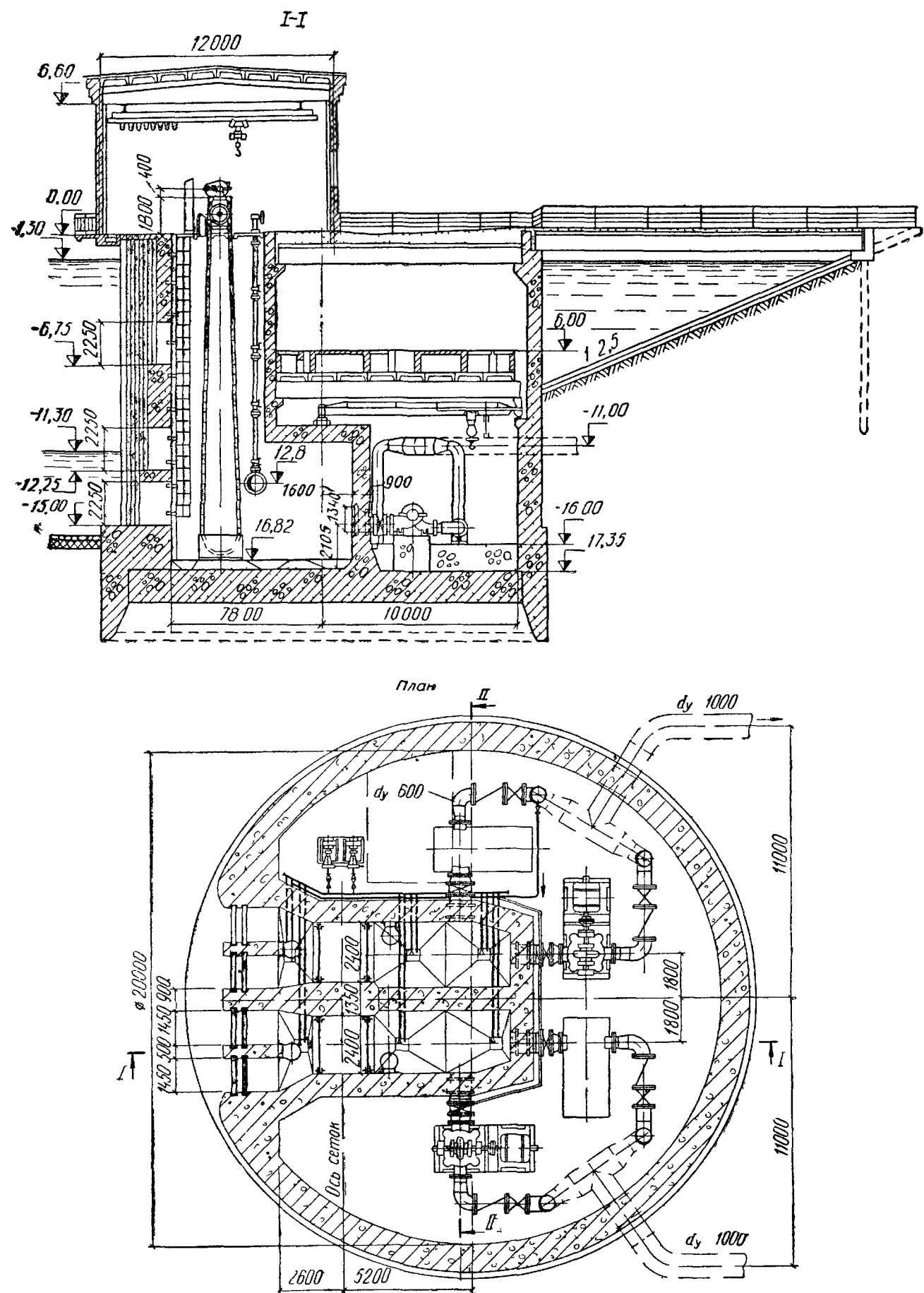


Рис. IV.8

1 — полотно сетки; 2 — верхний барабан; 3 — промывные трубы диаметром 70 мм; 4 — направляющие для формирования промывной струи; 5 — отражатель промывной струи; 6 — желоб для отвода промывной воды; 7 — вращающиеся капроновые щетки для очистки сетки



На рис. IV.7, в показана принципиальная схема установки вращающейся сетки прямооточного типа (с лобовым подводом воды). Здесь вода проходит последовательно два поля полотна сетки — переднее и заднее. При движении полотна сетки с задержанными на нем загрязнениями попадает под струи промывочной воды; проходя зону промывки, полотно очищается и в таком виде снова погружается в воду. Такая

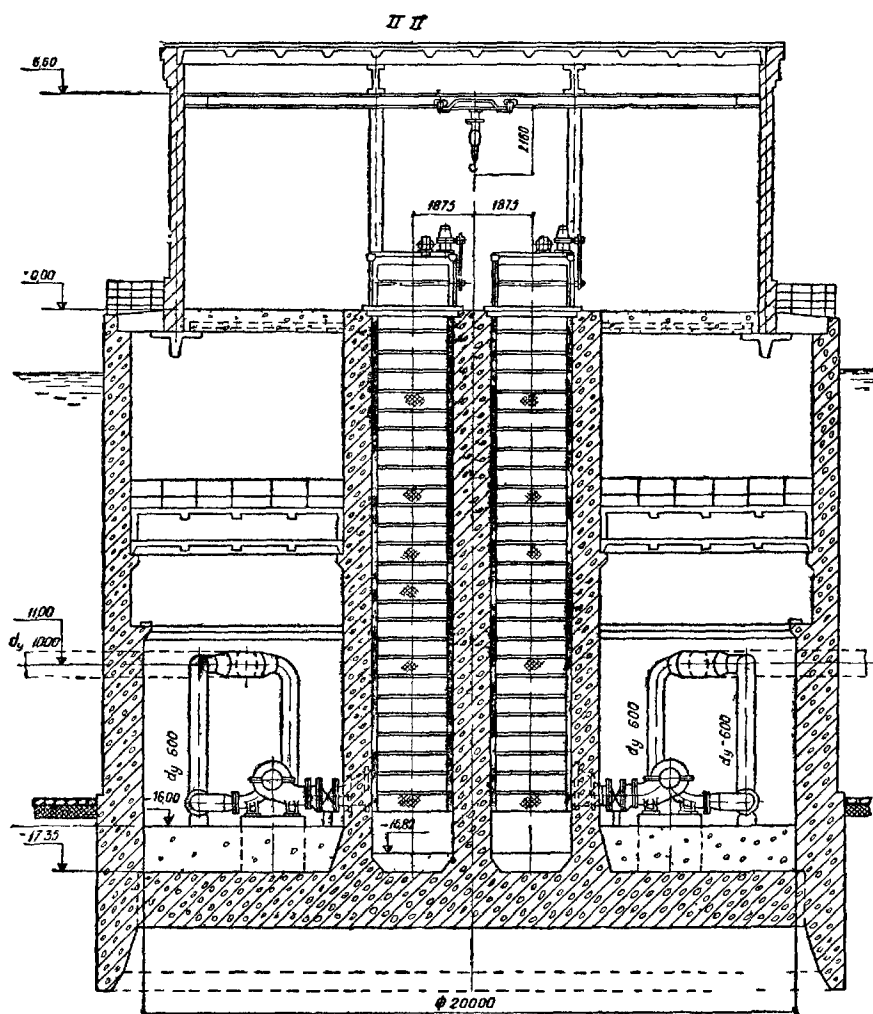


Рис. IV.9

сетка обеспечивает не только более простое и компактное устройство водоприемника, менее сложный монтаж, более удобный осмотр, но и более спокойный режим движения воды в камерах водоприемника с меньшими сопротивлениями. Однако сетка прамоточного типа имеет тот недостаток, что процеживает воду в основном только одним своим полем. Если по требованиям потребителя должна быть гарантирована бесперебойность процеживания воды на сетках, сетки прамоточного типа применять не следует, так как при неполадках в промывных устройствах загрязнения могут переноситься такой сеткой в камеру чистой воды.

Скорость поступательного движения сеток принимается тем больше, чем больше загрязнение забираемой воды. Обычно эта скорость лежит в пределах 3,5—10 см/с.

Мощность электродвигателя, используемого для вращения применяемых в нашей практике сеток, колеблется в пределах от 2 до 5 квт.

На рис. IV.8 показано промывное устройство (для сетки с лобовым подводом воды) в виде двух горизонтальных параллельно расположенных труб с отверстиями диаметром 6 мм. Вода для промывки подается под давлением 4 кгс/см². Трубы снабжены направляющими плоскостями. Выходя из отверстий, вода ударяется об эти плоскости, в результате чего образуется струя «ножевого» характера, т.е. плоская режущая струя, смывающая загрязнения с сетки. В некоторых установках сетки дополнительно очищают с помощью капроновых щеток.

На рис. IV.8, а дана общая схема промывного устройства, а на рис. IV.8, б показан разрез верхней промывной трубы с отверстиями и направляющей плоскостью.

Расход промывочной воды меняется в зависимости от степени за-

грязнения сетки, ее размеров, размеров ее ячеек и скорости вращения, составляя от 5 до 10 и даже (в крупных установках) до 15 л/с.

Вращающиеся сетки, выпускаемые нашей промышленностью, рассчитаны на пропуск воды в количестве до 3 м³/с.

В системах водоснабжения значительного масштаба приходится устанавливать несколько параллельно работающих сеток. Каждая из них помещается в отдельной сеточной камере водоприемного сооружения.

Вращающиеся сетки получили широкое применение в системах водоснабжения промышленных предприятий, а также в водопроводах крупных городов.

Полученные в результате расчета размеры входных окон и сеток позволяют определить строительные размеры секций водоприемника по фронту (размер L на рис. IV.2). При этом для обеспечения необходимой прочности сооружения должны быть учтены конструктивные соображения в отношении расстояний между входными окнами.

Размеры отделений A и B водоприемника в продольном направлении (размеры a и b на рис. IV.2) определяются в основном по конструктивным и эксплуатационным соображениям. Они должны обеспечить возможность размещения в водоприемнике сеток, затворов, лестниц, трубопроводов и другого оборудования, а также возможность проведения операций по осмотру и ремонту оборудования.

Соотношение всех размеров водоприемника в плане должно обеспечить по возможности плавное движение потока воды от входных окон к сеткам и от сеток к всасывающим трубам без излишних завихрений или застойных мест.

В водоприемниках на водоемах рыбохозяйственного значения должны быть предусмотрены все необходимые мероприятия и устройства, препятствующие занесению (попаданию) в них рыбы. Характер рыбоохранных мероприятий зависит от особенностей природных источников воды и базируется на специфике жизни и поведения обитающих там рыб. В качестве рыбоохранных заградительных устройств в водоприемных сооружениях используются плоские сетки (с размерами ячеек, соответствующими крупности рыбы), сетчатые барабаны (сетки цилиндрической формы, перекрывающие входные окна водоприемника), сетки с рыбоотводами — устройствами, позволяющими отводить рыбу, задержанную сеткой, обратно в водоем; отбойные козырьки; запани, располагаемые в водоеме и отводящие рыбу от места забора воды в водоприемник. Расчетные скорости движения воды через все виды заградительных устройств устанавливаются исходя из соображений рыбоохраны.

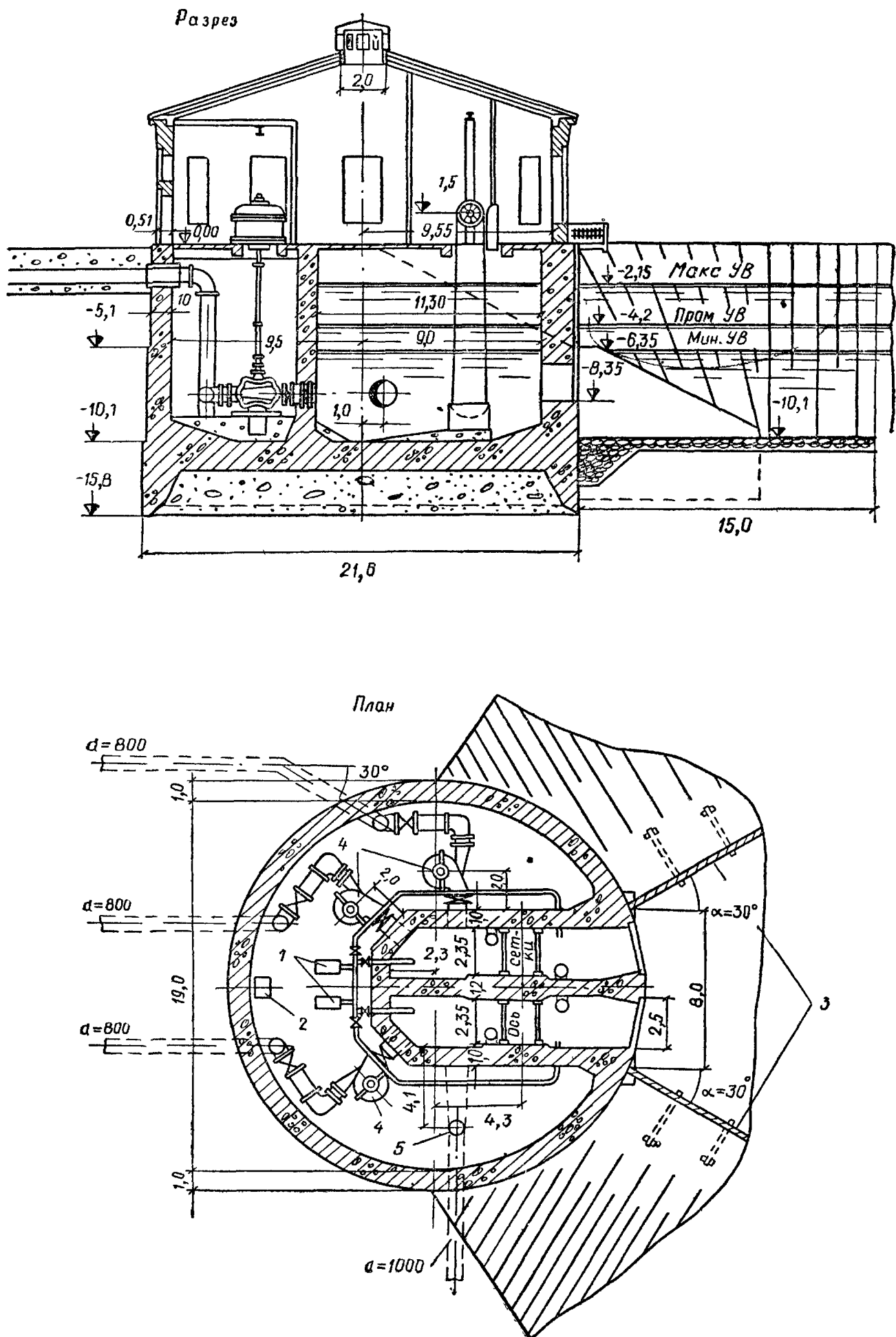
Кроме перечисленных механических устройств используются также (в дополнение к ним или самостоятельно) гидравлические заградители в виде струй воды, пневматические завесы из пузырьков воздуха, а также электрические, световые или звуковые заградительные поля.

Специфические требования по рыбозащитным мероприятиям при устройстве водопроводных водоприемных сооружений излагаются в «Положении по проектированию рыбозащитных устройств водозаборных сооружений» Министерства рыбного хозяйства СССР и включены в проект СНиП II-Г.3.

§ 58. ПРИМЕРЫ РЕЧНЫХ ВОДОПРИЕМНИКОВ БЕРЕГОВОГО ТИПА

На рис. IV.9 приведен пример совмещенного с насосной станцией водоприемника берегового типа производительностью 5—6 м³/с; амплитуда колебаний уровня воды до 10 м.

Подземная часть водоприемника представляет собой круглый в



плане колодец из монолитного железобетона, сооруженный опускным способом. Вода поступает в водоприемник через окна, оборудованные решетками, проходит вращающиеся сетки с лобовым подводом воды и попадает в приемное отделение, расположенное в центральной части колодца и разделенное на две секции. Помещение насосной станции с трех сторон охватывает приемное отделение. На станции установлено четыре центробежных насоса типа 22 НДс (действующих и запасных).

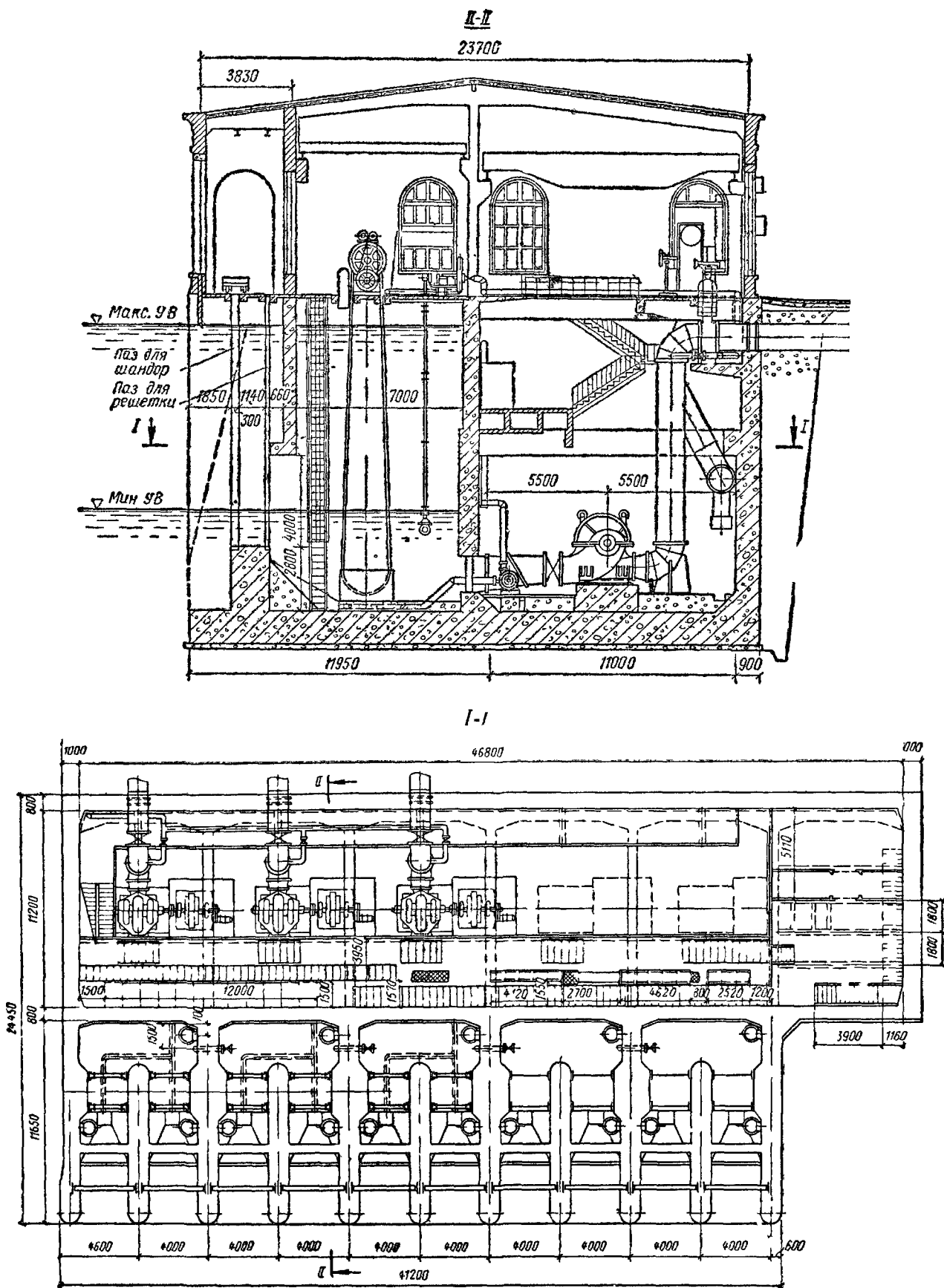


Рис. IV.11

Расходомеры и гасители удара располагаются на напорных водоводах вне пределов станции — в специальных камерах.

На рис. IV.10 показан водоприемник также берегового типа, но оборудованный вертикальными насосами. Электродвигатели расположены на перекрытии в наземном павильоне станции. Применение вертикальных насосов позволяет уменьшить площадь насосной станции и, следовательно, объем всего сооружения.

На рис. IV.11 приведен крупный водоприемник системы производственного водоснабжения. Водоприемник (совмещенный с насосной станцией) имеет прямоугольную форму в плане и рассчитан на подачу воды в количестве $12 \text{ м}^3/\text{с}$. Насосная станция оборудована пятью горизонтальными насосами типа 48Д-22 производительностью $3 \text{ м}^3/\text{с}$ каждый. Вода проходит во всасывающее отделение через вращающиеся сетки.

§ 59. РЕЧНЫЕ ВОДОПРИЕМНИКИ РУСЛОВОГО ТИПА

а. Принципиальная схема устройства

Водоприемники руслового типа чаще всего применяют при относительно пологом берегу. В этих условиях требуемые для забора воды глубины в реке находятся на относительно большом расстоянии от берега. Кроме того, при пологом берегу сезонные колебания уровня воды в реке вызывают значительное перемещение уреза воды (т.е. затопление берега). А поскольку насосная станция, как правило, должна быть расположена вне зоны затопления, длина труб от точки приема воды до насосной станции получается обычно весьма большой. Устройство длинных всасывающих линий экономически нецелесообразно и не обеспечивает надежной эксплуатации водоприемника. В связи с этим в водоприемниках руслового типа всасывающие линии заменены (на большей части их длины) самотечными, по которым осуществляется своеобразный глубокий ввод воды в берег с подводом ее возможно ближе к насосной станции.

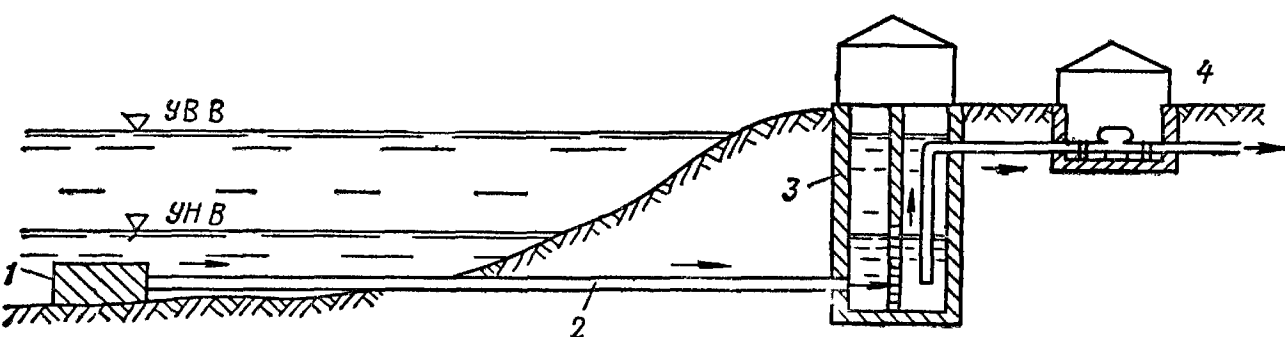


Рис IV.12

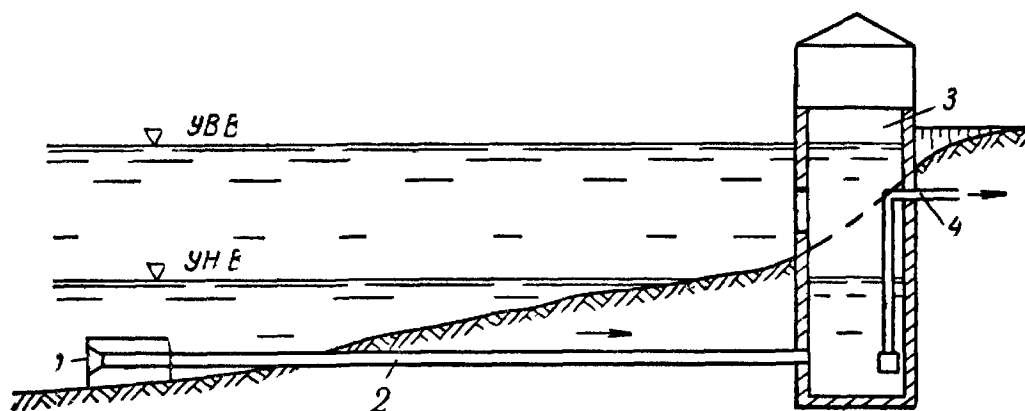


Рис IV.13

1 — оголовок 2 —
самотечные тру-
бы, 3 — береговой
оголодец, 4 — к на-
сосам

На рис. IV.12 показана принципиальная схема руслового водоприемника. Здесь непосредственный прием воды из реки производится через оголовки 1, конструктивное оформление которого зависит от количества забираемой воды, глубины реки, ее ледовых условий, характера грунта и т. д. От оголовка вода по самотечным линиям 2 подводится к береговому колодезю 3. Его конструкция и оборудование несколько отличаются от обычного водоприемника берегового типа, поскольку вода из источника поступает в него не через входные окна, а по самотечным трубам. Так же как и водоприемник берегового типа береговой колодезь обычно состоит из приемного и всасывающего отделений и снабжен сетками для грубой механической очистки воды. Береговой колодезь может быть устроен отдельным или совмещен с насосной станцией 4.

При определенных условиях (профиль берега, амплитуда колебаний уровня воды) устраивают комбинированный водоприемник (рис. IV.13), где забор воды при высоком стоянии уровня производится через входные окна в передней стенке берегового колодезя, как и в обычном водоприемнике берегового типа.

При значительных колебаниях уровня воды водоприемники руслового типа иногда устраивают с двумя ярусами самотечных труб для возможности приема воды с наименьшим количеством взвеси.

В некоторых случаях в целях уменьшения глубины укладки самотечных линий их заменяют сифонными линиями.

б. Оголовки

Все типы приемных оголовков можно разделить на три группы: постоянно затопленные, затопляемые высокими водами и незатопляемые.

Несмотря на то что обслуживание затопленных оголовков связано с определенными трудностями и неудобствами (их недоступность в паводки), они имеют в практике наиболее широкое распространение, так как значительно дешевле незатопляемых оголовков. Постоянно затопленные оголовки имеют то преимущество, что не подвергаются воздействию ледовых нагрузок.

Затопленные оголовки можно разделить на два типа. Оголовки первого типа служат лишь для укрепления и защиты от повреждения приемных концов самотечных линий, забирающих воду непосредственно из реки; оголовки второго типа образуют приемную камеру, куда поступает речная вода и к которой присоединяются приемные концы самотечных линий.

На судоходных и лесосплавных реках над оголовком должен быть установлен освещаемый ночью сигнальный знак типа, применяемого управлением речного транспорта.

На рис. IV.14 показано устройство простейшего затопленного оголовка первого типа, закрепляющего приемный конец самотечной линии (имеющий форму раструба) на сваях. Раструб снабжен съемной решеткой, аналогичной по назначению и величине просветов решетке во входных окнах водоприемника берегового типа. В данном случае вся самотечная линия располагается над дном реки на свайных опорах.

При прокладке самотечной линии по дну или под дном линия в месте приема воды должна заканчиваться вертикальным или наклонным отростком с раструбом.

Для защиты раструба от повреждения льдом или плавником используют кусты свай, располагаемые выше по течению реки, или ог-

раждающие свайные стенки. Более надежная защита концов самотечных труб и обеспечение наилучших условий приема воды достигаются при устройстве приемных оголовков специальной конструкции.

По материалу оголовки бывают деревянными (свайными или ряжевymi), бетонными и железобетонными.

Ряжевые оголовки в течение долгого времени имели широкое применение в практике водоснабжения, а иногда применяются и теперь. Оголовки этого типа построены на многих водопроводах.

На рис. IV.15 изображен ряжевый оголовок с наклонным расположением сороудерживающих решеток.

В последнее время ряжевые оголовки вытесняются более совершенными типами оголовков — бетонными и железобетонными. Бетонные оголовки, обладающие относительно большей массивностью, чем ряжевые, и более обтекаемой формой, применяют обычно при значительных количествах забираемой воды.

На рис. IV.16 показан бетонный оголовок (в металлическом кожухе).

Гипрокоммунводоканала

производительностью

1,5 м³/с. Прием воды осуществляется с двух сторон

через закрытые металличе-

скими решетками

окна в продольных стен-

ках оголовка. Оголовку

придана обтекаемая форма. Металлический

кожух заполняется бетоном

(способом подводного бетонирования). За-

бираемая вода подается на берег по двум стальным самотечным

трубам. Для предотвращения обмерзания решеток предусмотрен их обогрев

электрическим током.

На рис. IV.17 показан железобетонный оголовок с двусторонним

приемом воды производительностью 1 м³/с (размеры в скобках даны

для оголовка при глубине воды в реке 3,5 м). Вода поступает в оголовок

через окна в боковых стенках и отводится по двум самотечным трубам,

примыкающим к торцовым стенкам двух водоприемных камер, разделенных

диагональной перегородкой.

По такому же принципу устраиваются и новые ряжевые оголовки.

Незатопляемые оголовки более удобны для эксплуатации и обеспе-

чивают наибольшую надежность бесперебойной подачи воды, но

представляют собой весьма дорогостоящие устройства. Эти соору-

жения (рис. IV.18) подобны полым промежуточным опорам моста.

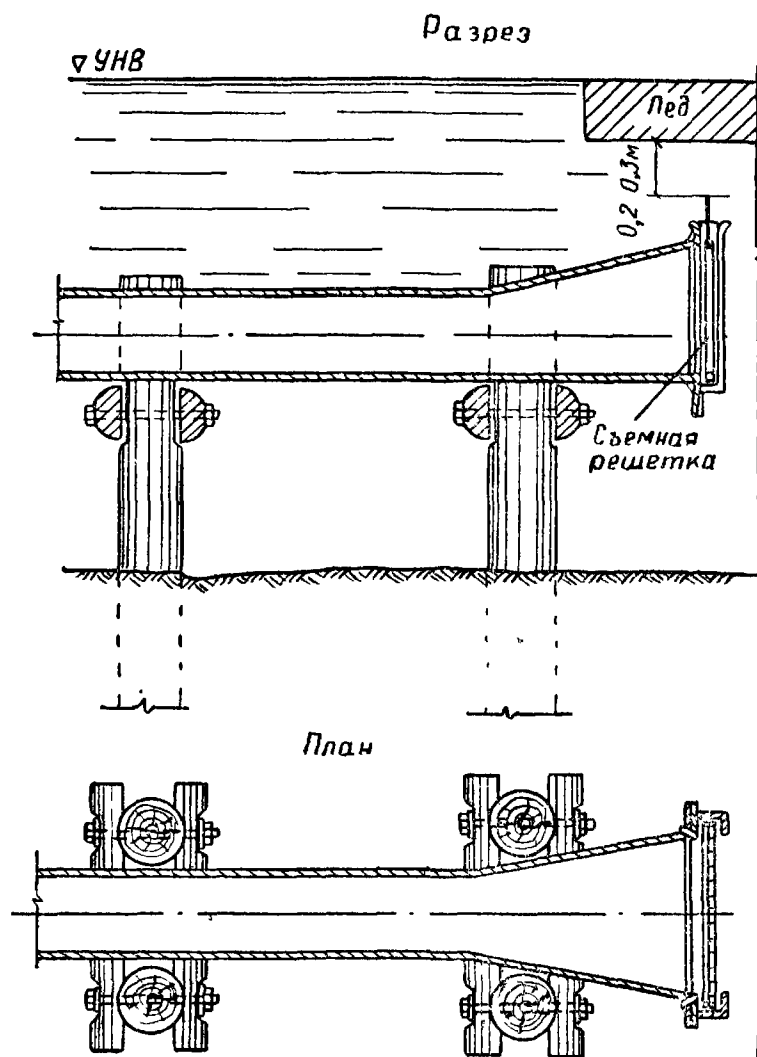


Рис. IV.14

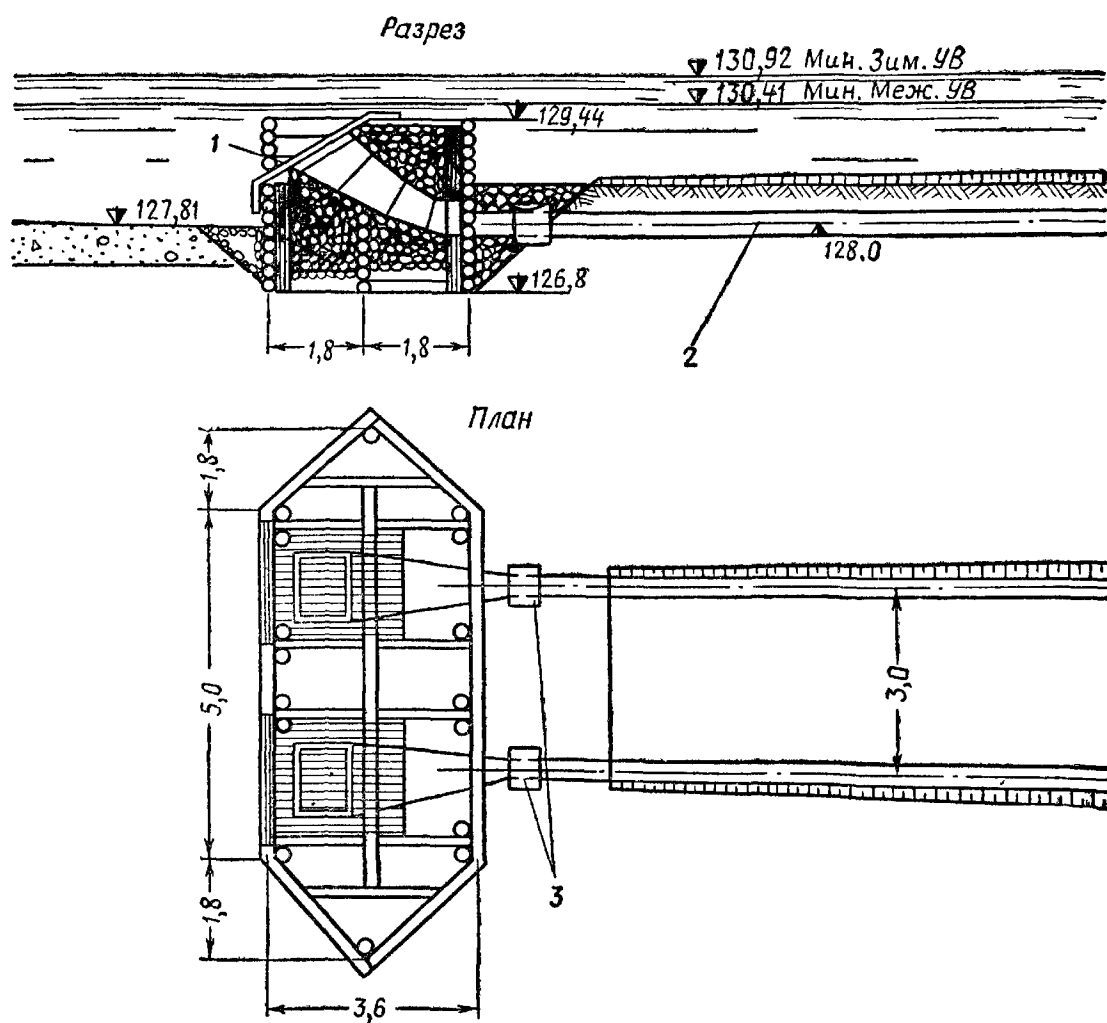


Рис. IV.15

1 — деревянная решетка; 2 — самотечная линия диаметром 450 мм; 3 — подвижные муфты

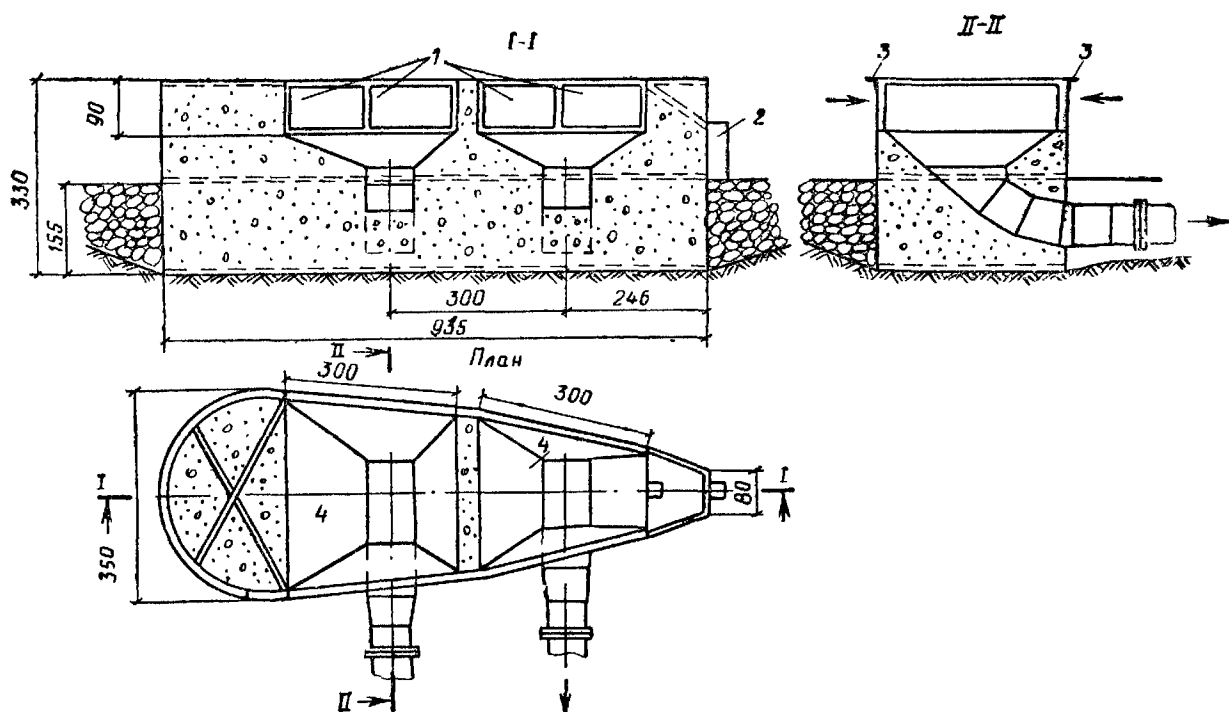


Рис. IV.16

1 — отверстия для решеток; 2 — коробка электрокабеля; 3 — рамы для решеток; 4 — воронки

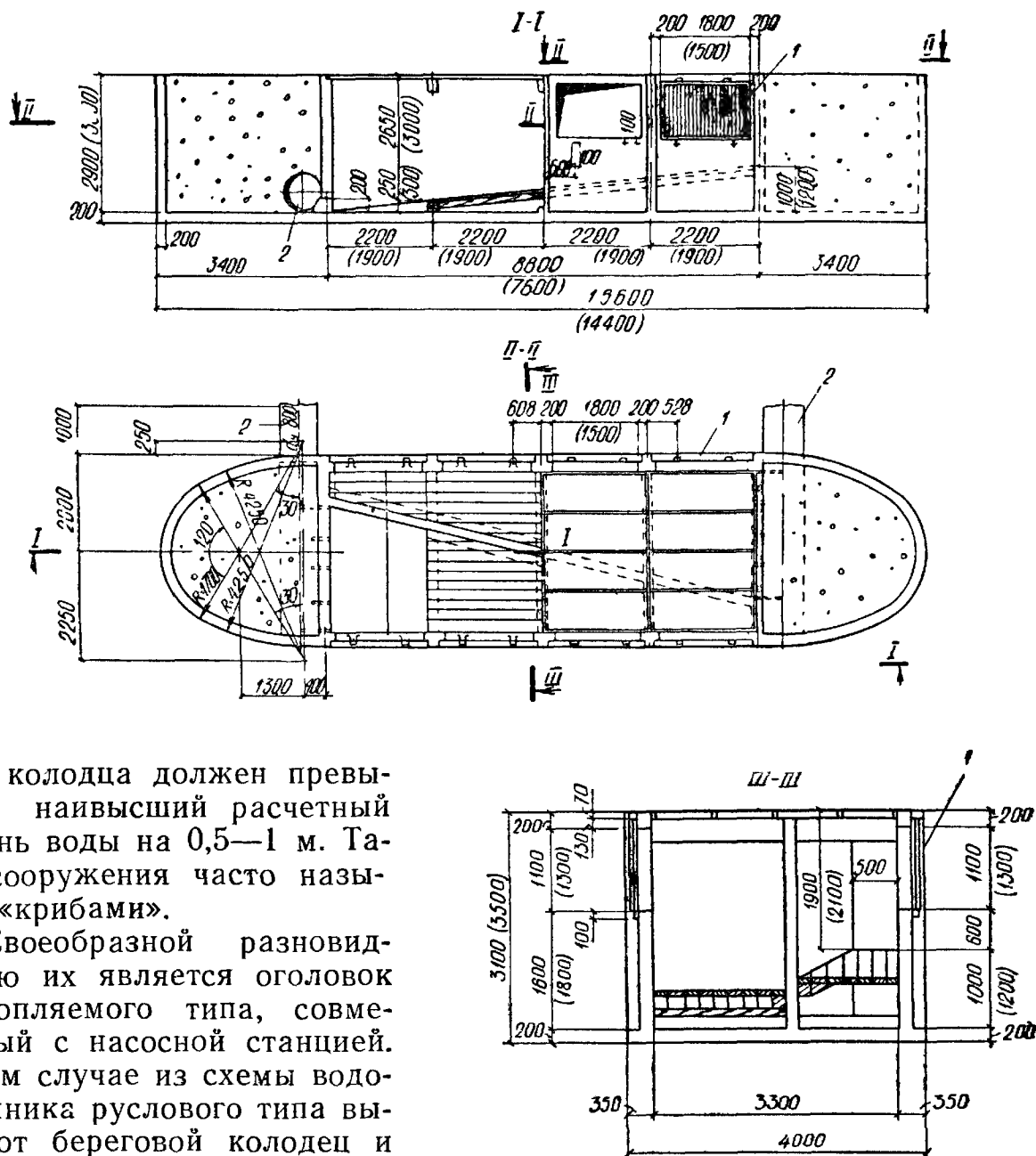


Рис. IV 17

1 — сороудерживающие решетки; 2 — самотечные трубы

Верх колодца должен превышать наивысший расчетный уровень воды на 0,5—1 м. Такие сооружения часто называют «крибами».

Своеобразной разновидностью их является оголовок незатопляемого типа, совмещенный с насосной станцией. В этом случае из схемы водоприемника руслового типа выпадают береговой колодец и самотечные линии. Вода от оголовка, совмещенного с насосной станцией, подается на берег напорными трубами, укладываемыми по дну реки, мосту или эстакаде. В оголовке в этом случае должны быть установлены сетки для процеживания воды.

в. Самотечные и сифонные линии

В целях обеспечения бесперебойной подачи воды все основные элементы водоприемных сооружений, как правило, дублируются. Поэтому число самотечных линий, соединяющих оголовки с береговым колодцем (как и число их секций), должно быть не менее двух.

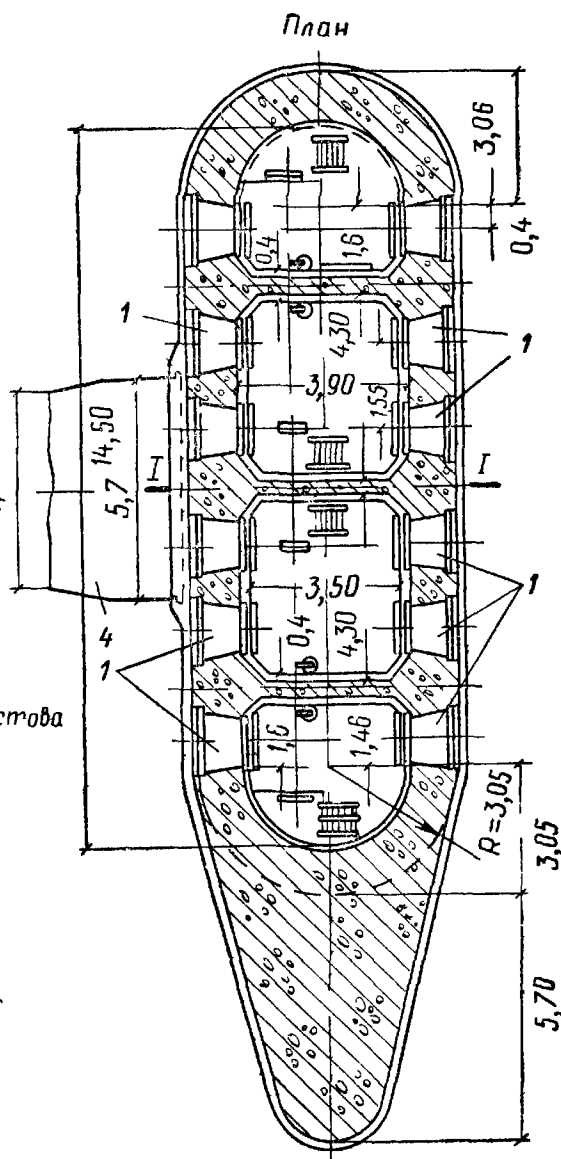
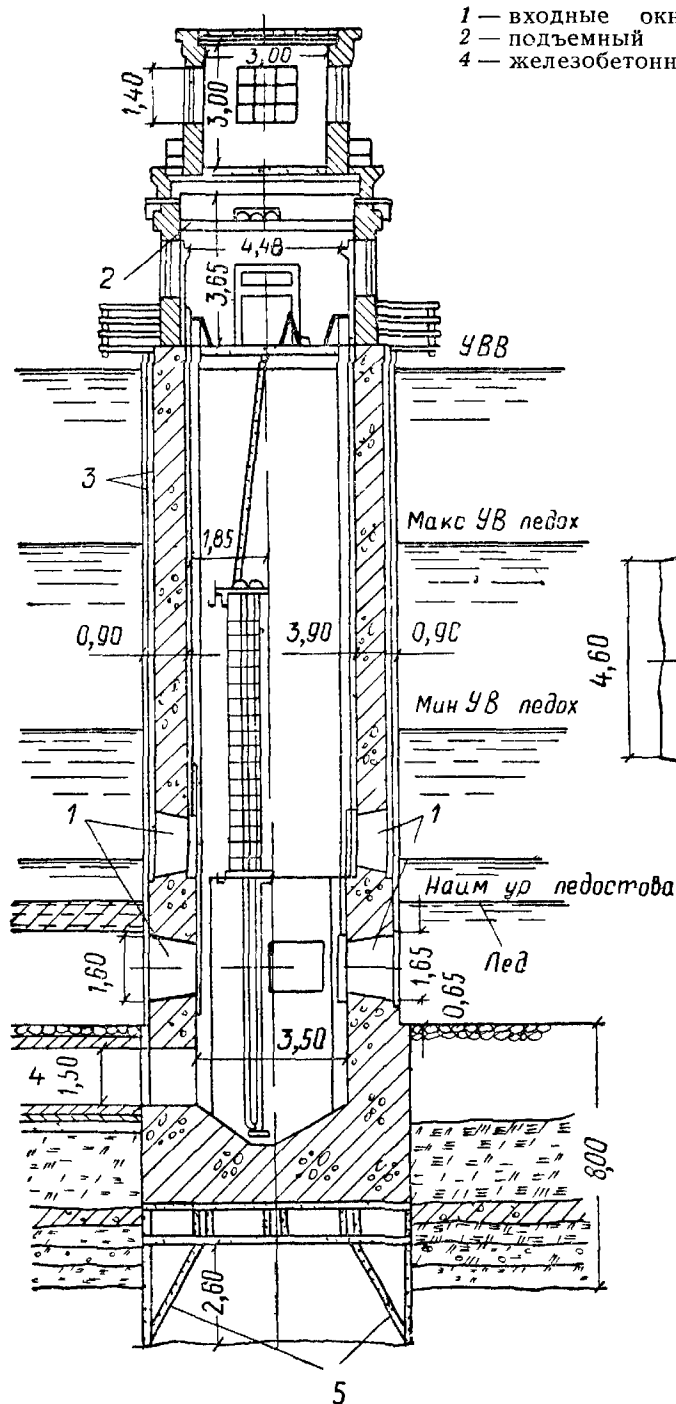
Диаметр труб самотечных линий определяется в зависимости от заданного расхода и принятого значения расчетной скорости.

При работе насосов уровень воды в приемном отделении берегового колодца опускается ниже уровня воды в реке на высоту, равную потерям напора, обусловленным гидравлическими сопротивлениями при движении воды по самотечным линиям. Потери напора зависят от скорости движения воды по самотечным линиям. Во избежание больших потерь

I-I

Рис IV 18

- 1 — входные окна с сороудерживающими решетками;
 2 — подъемный кран, 3 — направляющие швеллеры;
 4 — железобетонная самотечная галерея, 5 — нож опускающего колодца



напора, а следовательно, и излишне большого заглубления берегового колодца скорость движения по самотечным линиям не должна быть большой. Вместе с тем она не должна быть настолько малой, чтобы обуславливать обильное выпадение взвеси в трубах.

Действующие строительные нормы рекомендуют принимать для самотечных линий водоприемников руслового типа расчетную скорость движения воды при нормальной работе сооружения (при отборе заданного расчетного расхода и включении всех линий) в пределах от 0,7 до 1,5 м/с. Большие значения следует принимать для больших расчетных расходов, при большем содержании взвеси и при относительно малой длине линий.

Самотечные линии должны быть проверены на незаиляемость при принятой скорости движения воды, принятом диаметре труб и характеристиках взвеси, содержащейся в воде, забираемой из источника.

Вопросу исследования незаиляющих скоростей и транспортирующей способности потоков были посвящены многочисленные работы

отечественных и зарубежных ученых (В. Н. Гончаров, В. И. Леви, Е. А. Замарин и др.). Строительные нормы рекомендуют производить проверку самотечных линий на незаиляемость по формуле А. С. Образовского, приведенной к такому виду:

$$\rho \leq 0,11 \left(1 - \frac{\sigma}{u}\right)^{4,3} \frac{v^3}{g\sigma D},$$

где ρ — мутность речной воды в кг/м^3 ;

σ — средневзвешенная гидравлическая крупность взвеси в м/с

u — скорость выпадения частиц взвеси, равная

$$u = \frac{\sqrt{g}}{C} v$$

(здесь C — коэффициент Шези, принимаемый в зависимости от материала труб; v — скорость движения воды в трубе в м/с);

D — диаметр трубы в м.

При соблюдении приведенного неравенства можно считать, что принятая скорость v обеспечивает незаиляемость линии.

Самотечные линии следует по возможности укладывать без каких-либо поворотов в плане или в вертикальной плоскости. Они могут располагаться горизонтально, а также с прямым или обратным уклоном.

Для самотечных линий используют обычно стальные или железобетонные трубы. В пределах русла реки трубы укладывают в специально устроенную траншею (ниже дна реки). На участке примыкания к оголовку трубы должны быть уложены на достаточно прочное основание.

Укладка труб самотечной линии на всей длине по дну реки и обсыпка их приводят к образованию донной полузапруды, вызывающей местное увеличение скоростей движения воды и создающей опасность подмыва основания оголовка. При необходимости прокладки труб по дну требуется особо тщательное устройство основания под ними и укрепление самих труб.

Несмотря на попытки создать режим работы самотечных труб, при котором исключалось бы их заиливание, полностью предотвратить осаждение взвесей в этих трубах обычно не удается. В результате трубы постепенно заиляются и требуют периодической очистки. Наиболее часто применяемым способом очистки самотечных труб является промывка их обратным током воды.

Промываемая самотечная линия выключается из работы и в нее подается вода от напорных водоводов. В это время вторая самотечная линия (или все остальные, если их несколько) продолжает работать.

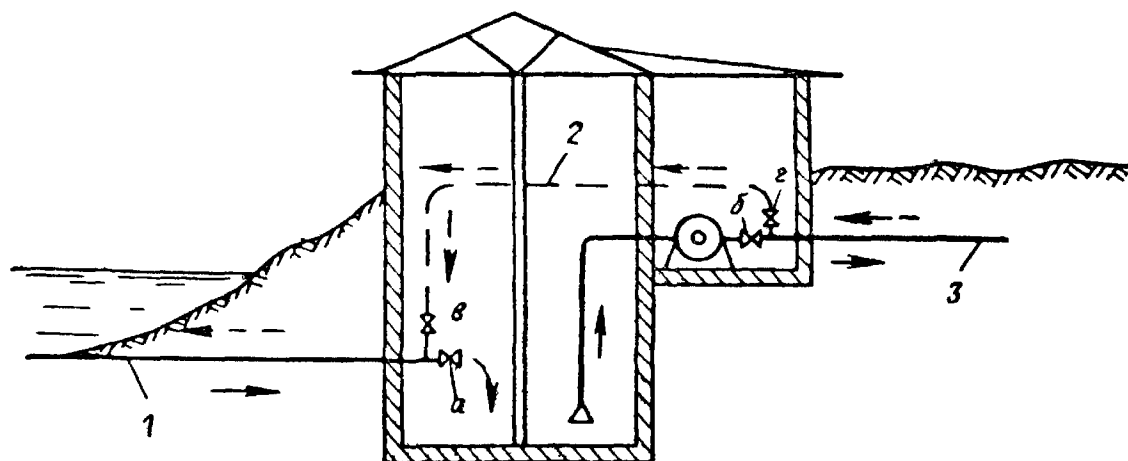
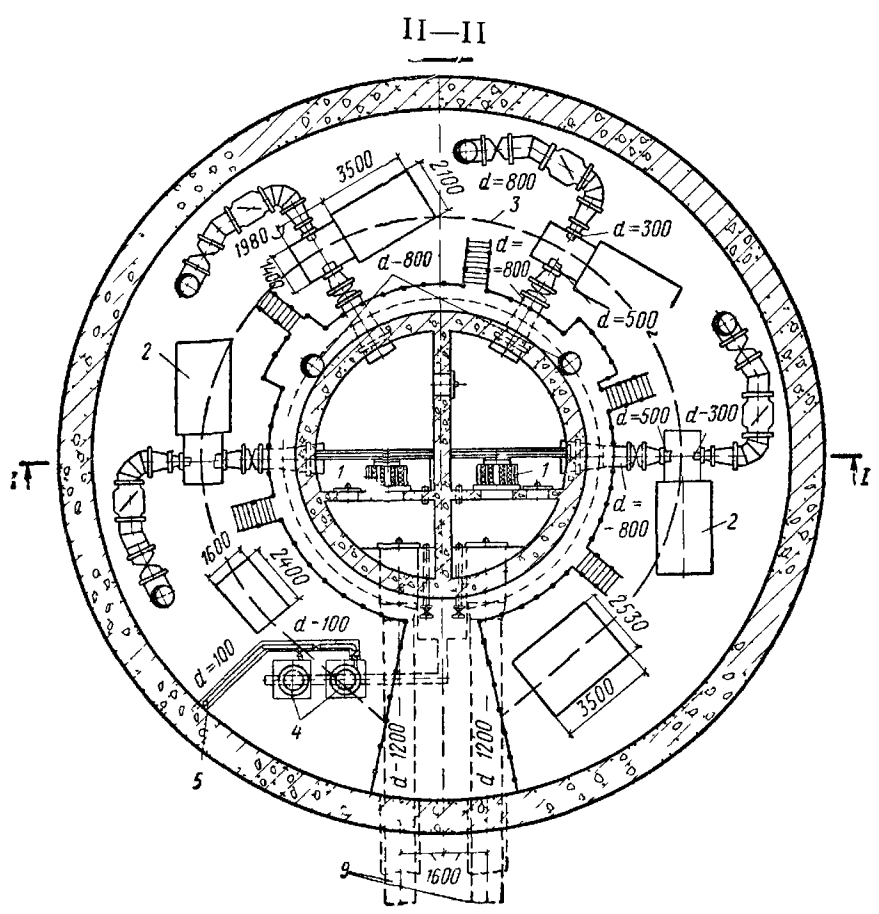
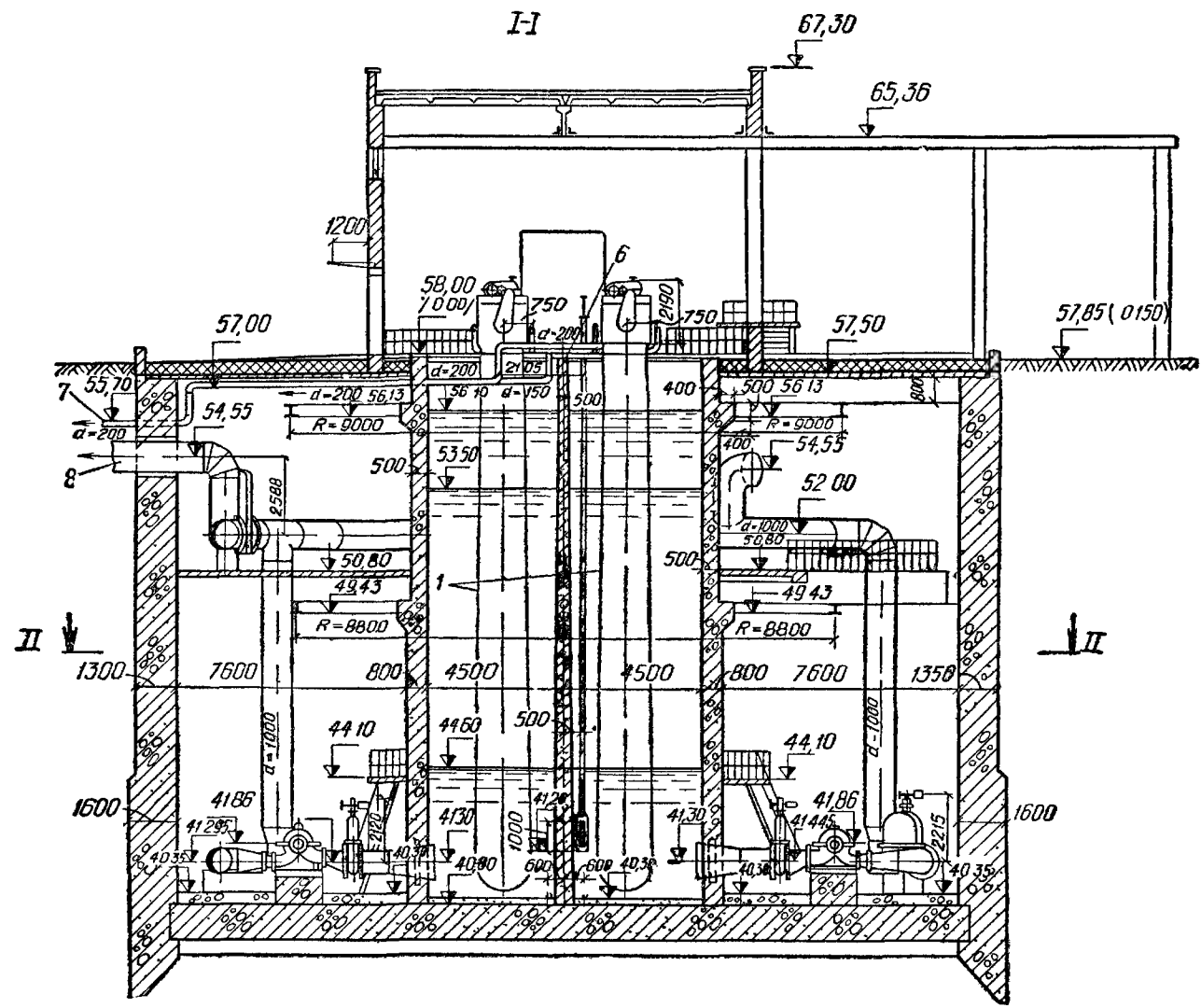


Рис. IV.19

1 — самотечная линия; 2 — обводная линия; 3 — напорный водовод



Устройство переключений между водоводами, позволяющее осуществлять промывку, схематически показано на рис. IV.19. Вода для промывки подается по обводной трубе (пунктирная линия), соединяющей напорный водовод с самотечной линией. При этом задвижки *a* и *б* закрываются, а *в* и *г* открываются.

Для достижения требуемого эффекта промывки необходимо создать в самотечной линии такие скорости, которые обеспечивали бы взмучивание отложившегося на дне труб осадка и его вынос. «Взмучивающая» скорость зависит от средневзвешенного диаметра осевших частиц *d* и внутреннего диаметра труб промываемой линии *D*.

Многочисленные экспериментальные исследования позволили дать приближенную формулу для определения требуемой скорости промывки

$$v \geq A(dD)^{0.25},$$

где коэффициент *A* принимается в пределах 7,5—10.

Большие значения *A* обеспечивают более высокий эффект промывки, но требуют большего расхода промывной воды. Для создания требуемой скорости промывки обычно приходится подавать в самотечную линию расходы, значительно превосходящие ее нормальную производительность. Это можно обеспечить работой нескольких насосов на одну линию или обратным пуском воды из напорного водовода, если бак, в который подается вода, расположен достаточно высоко.

Сифонные линии (устраиваемые иногда вместо самотечных) позволяют снизить глубину заложения труб, что особенно важно при прокладке их в сильно водоносных грунтах или в твердых породах. Сифонные линии укладывают с подъемом в сторону берегового колодца. В верхней, переломной точке сифонной трубы (в колодце) должна быть предусмотрена возможность выпуска воздуха как для зарядки сифона, так и в процессе эксплуатации. Для этого здесь помещают вакуум-котел и к нему присоединяют трубу от вакуум-насоса, установленного на насосной станции.

г. Береговые колодцы

Береговые колодцы, как и обычные водоприемники берегового типа, устраивают отдельными или совмещают с насосными станциями (последнее — чаще).

На рис. IV.20 показан береговой колодец, совмещенный с насосной станцией первого подъема. Две самотечные линии подводят воду к центральному приемному отделению с вращающимися сетками. Пройдя через эти сетки, вода поступает во всасывающее отделение, из которой забирается насосами.

На рис. IV.21 показана одна из новых оригинальных конструкций водоприемника руслового типа для приема воды в условиях значительных сезонных колебаний уровня воды в реке. Из затопленного железобетонного оголовка вода поступает в береговой колодец, совмещенный с насосной станцией, оборудованной вертикальными насосами. Для промывки самотечных линий предусмотрен новый метод «импульсной промывки».

Рис. IV 20

1 — вращающиеся сетки; 2 — насосы марки 20Д-6 с электродвигателями марки СДН 14-49-6, 3 — ось монорельса, 4 — грязевые насосы, 5 — напорный трубопровод от грязевых насосов 6 — трубопровод для подачи воды; 7 — трубопровод для отвода воды после промывки сеток; 8 — напорный трубопровод $d_y=1000$ мм; 9 — самотечные линии

В заключение следует указать, что иногда в схему узла водоприемных сооружений (обычно руслового типа) включают отстойники в виде выкопанных в земле бассейнов. Схема компоновки такого узла сооружений показана на рис. IV.22. От оголовка 1 вода поступает по самотечным линиям 2 к береговому колодцу 3, совмещенному с насосной станцией. От самотечных линий устроены ответвления к отстойникам 4. В смотровых колодцах 5 расположены задвижки, позволяющие осуществлять переключения и в период повышенной мутности

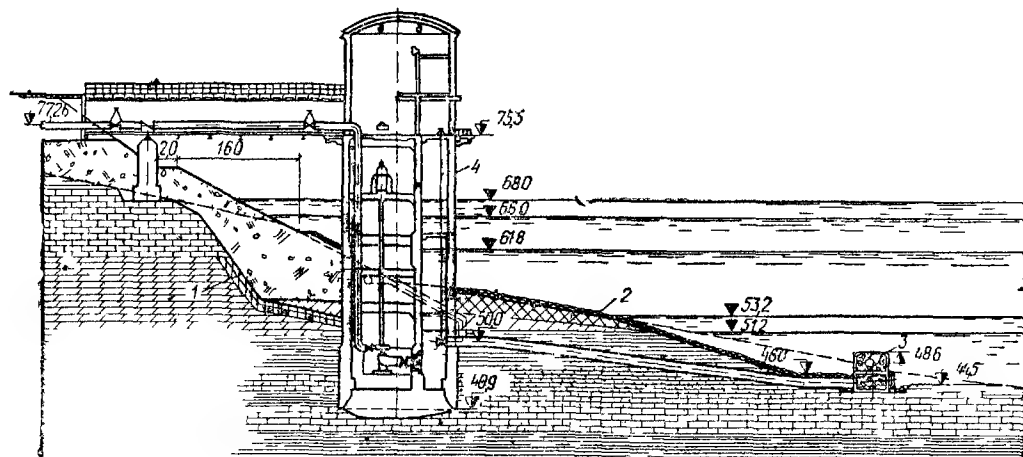


Рис IV 21

1 — граница строительного котлована; 2 — каменная наброска $h=0,6$ м; 3 — оголовок, 4 — береговой колодец, совмещенный с насосной станцией

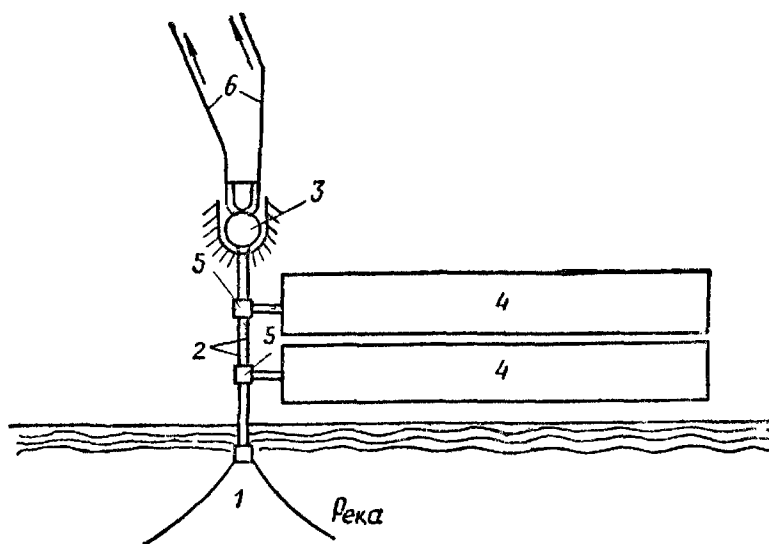


Рис IV 22

воды в реке направлять ее сначала в отстойники и лишь после ее осветления — к береговому колодцу. Насосная станция подает воду в напорные водоводы 6.

§ 60. ПЛАВУЧИЕ ВОДОПРИЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ (НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ)

Как было сказано ранее, одной из причин, затрудняющих устройство водоприемных сооружений, является колебание уровня воды в реке.

В водоприемниках всех рассмотренных типов насосы устанавлива-

ются на некоторой определенной отметке, обеспечивающей допустимую высоту всасывания при наименьшем уровне воды в реке.

Сооружения, описываемые в настоящем параграфе, основаны на совершенно ином принципе; в них отметка насосов изменяется в соответствии с сезонными колебаниями уровня воды в реке так, что высота всасывания остается постоянной. Для этого насосы устанавливают на барже или понтоне (рис. IV.23). Подъем или опускание такой насосной установки одновременно с изменением уровня воды в реке обеспечивает постоянную (небольшую) высоту всасывания насосов. Чтобы плавучая насосная установка не была снесена течением реки, ее закрепляют якорями.

Определенные трудности возникают в обеспечении надежной подачи воды с баржи на берег. Конец напорного водовода, уложенного на берегу (или на эстакаде, выходящей в русло реки), должен быть соединен с напорной трубой, идущей от насоса, отметка которого изменяется с изменением уровня воды. Соединение таких взаимно перемещающихся концов труб устраивается гибким — например с помощью шлангов или специального шарнирного стыка. Конструкция таких соединений, особенно в случаях относительно больших внутренних давлений в водоводах, не обеспечивает требуемой степени надежности.

Кроме того, плавучие насосные установки приходится размещать в бухтах, затоках или заливах (естественных или искусственно созданных), где они могут быть надежно защищены от ударов льдин, плывущих бревен и т.д., поскольку перемещение насосной установки вследствие подобных воздействий может привести к разрыву напорных линий. Основными недостатками плавучих насосных установок является относительная сложность их эксплуатации в определенные периоды года и недостаточная надежность.

Плавучие насосные установки нашли некоторое применение в условиях большого колебания уровней, в основном при относительно небольших расходах подаваемой воды и возможности их защиты от снесения течением.

Для небольших временных водопроводов, а также в сельскохозяйственных водопроводах применяют, кроме того, плавучие насосные агрегаты специальной конструкции, подающие воду на берег по гибким шлангам, лежащим на дне реки. Такие агрегаты могут легко переноситься с одного места на другое.

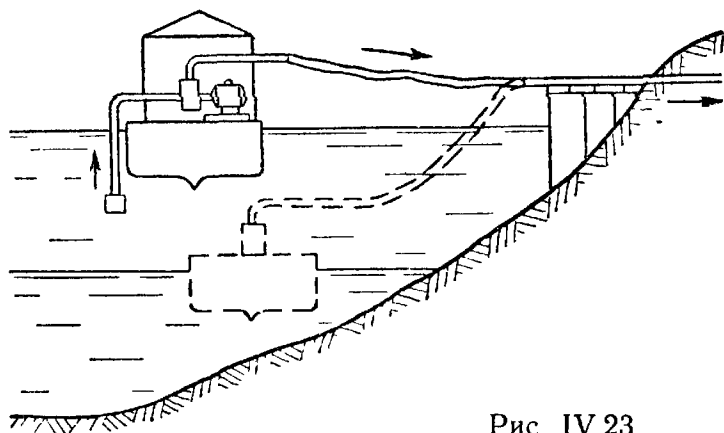


Рис IV 23

§ 61. ВОДОПРИЕМНЫЕ КОВШИ

При необходимости отбора из рек больших количеств воды в определенных условиях может оказаться экономически целесообразным и эффективным устройство водоприемных ковшей.

Водоприемный ковш представляет собой своеобразный искусственно сделанный залив, который образуется дамбой, вынесенной в русло реки (рис. IV.24), или специально отрытой выемкой (рис. IV.25).

Ковши могут иметь верховой вход (рис. IV.24, а и IV.25, а) или низовой вход (рис. IV.24, б и IV.25, б) по течению реки. В отдельных случаях устраивают два входа в ковш — верховой и низовой.

Вода забирается из ковшей водоприемными сооружениями В (преимущественно берегового типа), располагаемыми в конце ковшей.

Использование ковшей особенно эффективно на шугоносных реках. В ряде случаев ковш позволяет успешно бороться с затруднениями, которые возникают при заборе воды в условиях образования

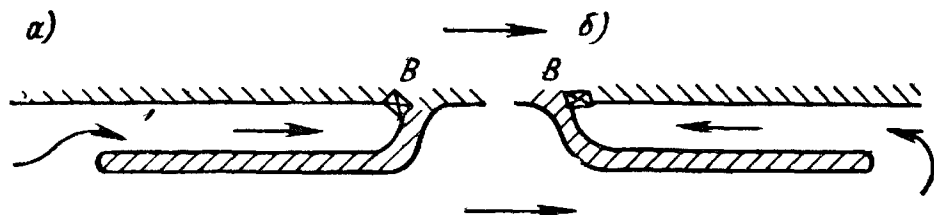


Рис. IV.24

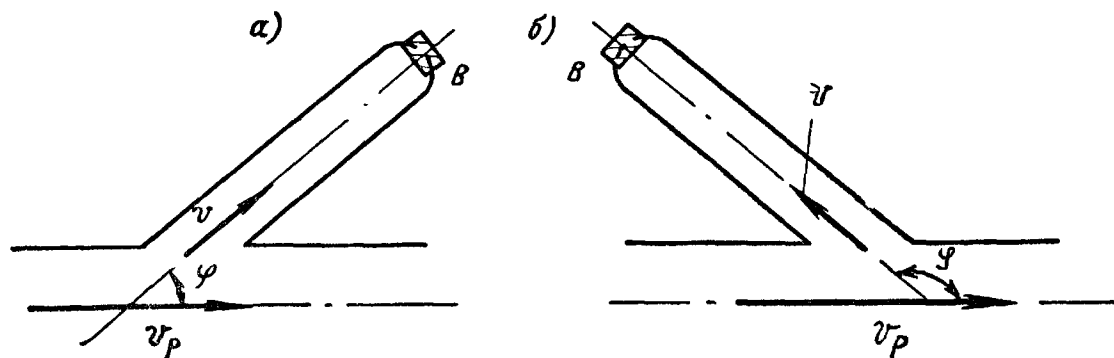


Рис. IV.25

внутриводного льда¹. Малые скорости движения воды в ковше (порядка 5—15 см/с в среднем по сечению ковша) обуславливают более раннее образование ледяного покрова, что исключает возможность переохлаждения воды в ковше и появления глубинного льда. Благодаря малым скоростям шуга, занесенная в ковш из реки, всплывает и смерзается с поверхностным льдом. Таким образом, условия работы водоприемника при заборе воды из ковша, а не непосредственно из шугоносной реки значительно улучшаются.

Следует отметить, что в районах с особенно тяжелыми ледовыми условиями ковши не всегда могут обеспечить надежную защиту водоприемника; в этих случаях требуется применение дополнительных мер по борьбе с обмерзанием водоприемных устройств: обогрев решеток, сброс перед водоприемником теплой отработанной воды (в производственных водопроводах).

Водоприемные ковши используют не только для борьбы с шугой, но иногда и для частичного осветления воды, забираемой из рек, несущих большие количества взвеси.

На реках с недостаточными глубинами ковши могут устраиваться для увеличения глубины у места забора воды и для улучшения условий подвода воды из русла реки к водоприемнику. В этих случаях дно ковша располагают на 1—1,5 м ниже дна реки, благодаря чему отпадает необходимость в возведении водоподъемной плотины.

¹ Основные сведения о внутриводном льде даются в курсе «Гидрология и гидротехнические сооружения».

Проще и дешевле устраивать ковши в русле реки путем сооружения дамбы (см. рис. IV.24). Если ковш предназначен для борьбы с шугой, то отметка гребня дамбы должна быть выше отметки уровня воды в период шугохода, но в другие периоды дамба может заливаться высокими водами. В ковшах, используемых для осветления забираемой воды, дамба устраивается незаливаемой.

В тех случаях когда стеснение русла реки дамбой нежелательно, ковш отрывают в береге реки. Иногда устраивают ковши, частично вынесенные в реку и частично врезанные в берег, что может сократить объем и стоимость работ. Угол ϕ , образуемый осью ковша с направлением течения реки, может меняться в весьма широких пределах.

Исследованию вопросов гидравлики водоприемных ковшей и разработке теории и методов их гидравлического расчета посвящено много ценных работ советских ученых (А. Я. Милович, В. А. Альтберг, М. М. Гришин, Н. Г. Малишевский, Н. С. Макеров, А. С. Образовский, П. Н. Белокоп и др.).

Детальный анализ работы водоприемных ковшей, а также разработка системы основных расчетных параметров приведены в одной из последних монографий А. С. Образовского¹.

Гидравлический режим работы водоприемных ковшей очень сложен. Он зависит от типа и формы ковша, расположения его по отношению к руслу реки, типа входа в ковш и количества воды, отбираемой из реки. Режим работы ковша меняется при сезонных изменениях уровня и скоростей течения воды в реке.

А. С. Образовский дает подробный анализ возможных режимов отбора воды из реки в ковш.

Можно различать два основных характерных режима отбора — режим деления и режим водообмена.

Режим деления возникает при отборе из реки относительно больших количеств воды (по сравнению с расходом воды в реке). При этом в реке ниже места отбора воды глубины и скорости течения уменьшаются, т. е. в русле реки образуется кривая спада. Таким образом, при режиме деления отбор воды оказывает существенное влияние на речной поток. При входе в ковш уровень воды несколько понижается и она поступает в ковш со скоростями, равными скоростям течения воды в реке или большими их. Это создает условия, способствующие вовлечению в ковш донных наносов.

Схема токов воды на входе в ковш при режиме деления показана на рис. IV. 26, а.

При входе в ковш образуются водоворотные зоны, занимающие значительную часть его сечения.

В ковше может быть выделена основная транзитная струя, т. е. поток воды, идущий от входа в ковш до водоприемника. Расход этого потока равен количеству воды Q_v , забираемой водоприемником. Ширина транзитной струи значительно меньше ширины ковша, а поэтому ее скорость течения v_t значительно больше средней расчетной скорости по сечению ковша v .

Режим водообмена возникает при отборе из реки относительно малых количеств воды (по сравнению с расходом воды в реке). При этом режиме на входе в ковш образуется система водоворотов, занимающих большую часть его ширины. Значительная часть воды, входящей в ковш, выходит из него обратно в русло реки. Создается своеобразная застой-

¹ А. С. Образовский (ВНИИ ВОДГЕО). Гидравлика водоприемных ковшей М., Госстройиздат, 1962.

ная зона, в которой происходит как всплывание шуги, так и выпадение взвеси. Это обеспечивает защиту ковша от занесения в него наносов и шуги.

На рис. IV. 26, б схематически показано направление токов воды на входе в ковш при режиме водообмена.

Интенсивность водообмена зависит от угла φ , образуемого осью ковша с направлением течения реки; она будет тем больше, чем меньше угол φ .

При режиме водообмена разница уровней воды в ковше и в реке весьма мала.

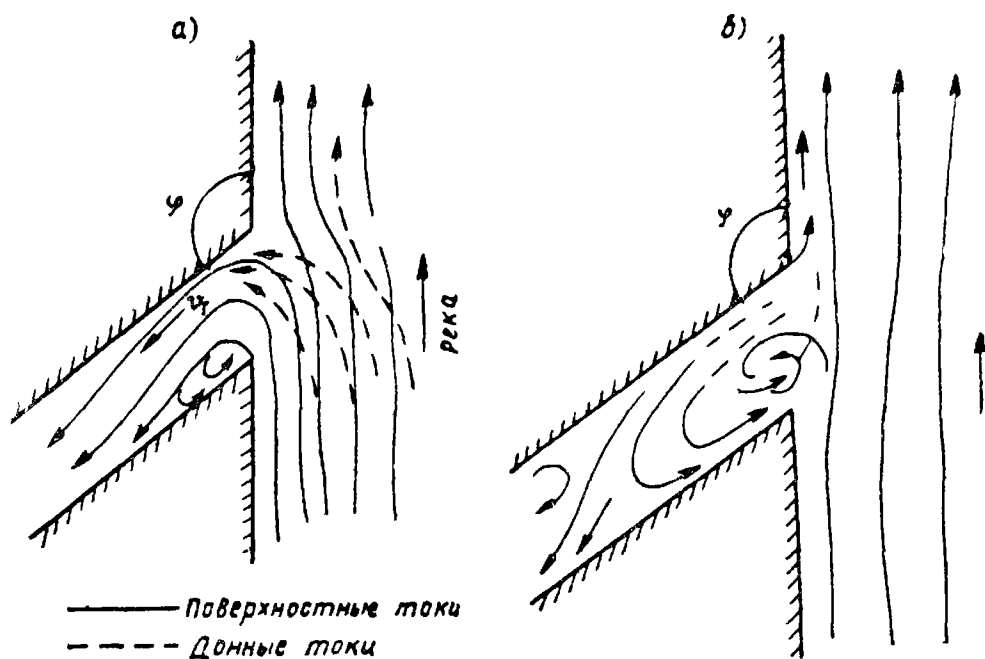


Рис. IV 26

В качестве численного критерия для определения режима отбора А. Я. Миловичем и А. С. Образовским предложено использовать величину отношения

$$M = \frac{v}{v_p},$$

где v — средняя скорость движения воды в ковше;
 v_p — скорость течения воды в реке.

Для ковшей, врезанных в берег при угле $\varphi = 135^\circ$, режим водообмена будет иметь место, если $M \leq 0,044$. При других значениях угла φ (от 150° до 30°) численный критерий M меняется соответственно от 0,042 до 0,081.

Режим деления будет иметь место (для ковшей, врезанных в берег при угле $\varphi = 135^\circ$) при $M \geq 0,132$. Для других значений угла φ (от 150° до 30°) численный критерий M будет меняться в пределах от 0,125 до 0,242.

Следует отметить, что для одного и того же ковша при сезонном изменении расхода воды в реке режим отбора может существенно меняться (при постоянном количестве забираемой из ковша воды Q_v). Так, в межень может иметь место режим деления, а в паводки — режим водообмена. В остальное время ковш будет работать в некотором переходном режиме. Схема токов воды в ковше при переходном режиме показана на рис. IV.27. Переходный режим характеризуется относительно

малым расширением транзитной струи в ковше (на рисунке заштрихована).

Гидравлический расчет самого ковша заключается в определении его основных размеров по заданному количеству забираемой воды Q_v . Однако условия гидравлического режима работы ковша довольно сложны, и принимаемые в нем скорости движения воды должны удовлетворять целому ряду требований.

Прежде всего средняя скорость v движения воды в ковше, предназначенном для борьбы с шуголедовыми явлениями, должна обеспечивать всплывание шуги в нем. Скорость v должна быть меньше так называе-

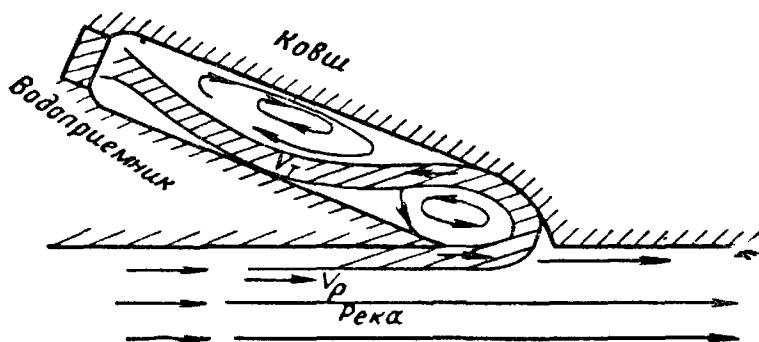


Рис IV 27

мой первой критериальной скорости $v_{к-1}$, соответствующей нижнему пределу шугоносности потока. В соответствии с наблюдаемыми размерами кристаллов внутриводного льда величина $v_{к-1}$ принимается равной 0,5 м/с. А. С. Образовский рекомендует принимать средние расчетные скорости движения воды в ковше не более 60% указанной критериальной скорости, т. е.

$$v \leq 0,6 v_{к-1}, \text{ или } v \leq 0,3 \text{ м/с.}$$

Нижний предел значений v обычно принимают равным 0,05 м/с.

Имея заданное расчетное количество забираемой воды Q_v и приняв (в соответствии с приведенными выше соображениями) скорость движения воды в ковше v , можно определить его длину l и ширину B .

Для определения длины ковша l , обеспечивающей всплывание занесенной в него шуги, могут служить формулы, по которым производится расчет отстойников. В общем виде

$$l = \alpha H \frac{v}{u_{ш}},$$

где α — коэффициент, учитывающий увеличение местных скоростей из-за неполноты использования сечения ковша (а иногда и некоторый запас);

H — глубина воды в ковше;

v — средняя расчетная скорость движения воды в ковше;

$u_{ш}$ — скорость всплывания шуги.

Точность расчета по этой формуле зависит, очевидно, от точности используемых в ней значений v и $u_{ш}$. Ранее в качестве v принимали среднюю по сечению скорость, вводя в формулу соответствующие поправочные коэффициенты.

А. С. Образовский предложил методику расчета ковшей, в большей степени учитывающую реальные условия их работы. По средней расчетной скорости, лежащей в пределах 0,05—0,15 м/с, он рекомендует определять лишь поперечное сечение ковша. При этом принимают тем мень-

шее значение скорости, чем больше скорость течения воды в реке и чем сложнее шуголедовые условия.

Расчетную длину ковша l_{τ} , необходимую для всплывания кристаллов внутриводного льда и шуги, А. С. Образовский предлагает определять, используя реальные скорости течения воды в постепенно расширяющейся транзитной струе и реальные скорости всплывания шуги $u_{\text{ш}} = 0,016-0,02$ м/с.

Расчетная формула для определения l_{τ} имеет вид

$$l_{\tau} = \frac{\psi}{\operatorname{tg} \beta} \left(\sqrt{b_{\text{н}}^2 - 2 \operatorname{tg} \beta \frac{Q}{u_{\text{ш}}}} - b_{\text{н}} \right),$$

где ψ — коэффициент, учитывающий турбулентное рассеяние ($\psi = 1,2-1,4$);

β — угол конусности транзитной струи ($\beta \approx 3^\circ$);

$b_{\text{н}}$ — начальная ширина транзитной струи, равная

$$b_{\text{н}} = \frac{Q}{Hv_{\text{в}}}$$

(здесь Q — отбираемый расход; H — глубина воды в ковше; $v_{\text{в}}$ — фактическая скорость входа в ковш, равная $0,5 v_{\text{р}}$ при режиме водообмена и $0,9 v_{\text{р}}$ при режиме деления; $v_{\text{р}}$ — скорость течения воды в реке).

При указанных значениях ψ и β приведенная формула примет вид

$$l_{\tau} = 29 \left(\sqrt{b_{\text{н}}^2 - \frac{0,105}{u_{\text{ш}}} Q} - b_{\text{н}} \right).$$

Учитывая, что некоторая часть длины ковша может быть занята отложениями шуги ($l_{\text{ш}} = 10-20$ м), а его входная часть ($l_{\text{в}} = B$) охвачена нерабочими циркуляциями, полная длина ковша принимается равной:

$$L = l_{\tau} + l_{\text{в}} + l_{\text{ш}}.$$

Следует отметить, что точный учет действительных условий входа воды в ковш крайне затруднителен. Поэтому для столь дорогих и ответственных сооружений, как водоприемные ковши, совершенно оправданным является исследование режима работы проектируемых ковшей на моделях.

На основании обширных исследований А. С. Образовский рекомендует устраивать ковши с низовым входом с углом φ , близким к 135° . Ковши с верховым входом, согласно его исследованиям, не обеспечивают требуемого эффекта выпадения наносов и всплывания шуги. А. С. Образовский считает, что эти ковши могут быть использованы как отстойники для взвеси только при условии значительного сужения входа в них или при устройстве регулятора на входе.

Приведем примеры некоторых построенных или запроектированных ковшей.

На рис. IV.28 показан ковш с низовым входом, частично врытый в берег и частично вынесенный в русло реки. Расчетное количество забираемой воды $10-15$ м³/с. Ковш огражден незатопляемыми в паводок дамбами (отметка меженного уровня 107 м, отметка уровня высоких вод $114,5$ м). В связи с ростом водопотребления объекта потребовалась реконструкция ковша. При реконструкции был построен второй водоприемник B_2 и было произведено удлинение дамб (показано пунктиром) с устройством ограждающих шпор a и направляющей бортовой стенки b .

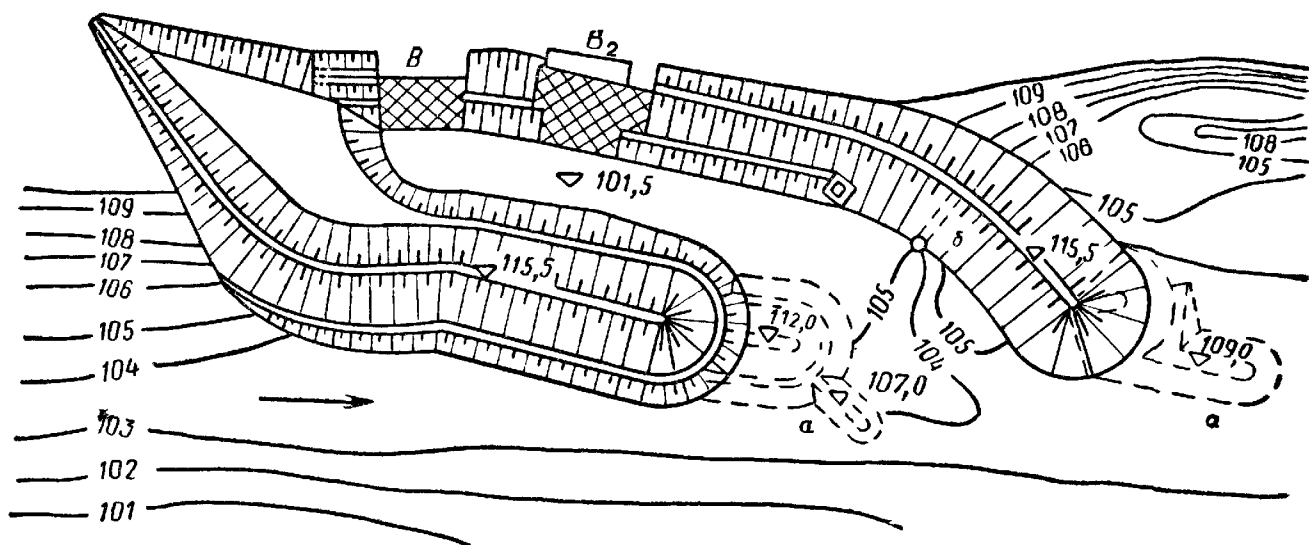


Рис. IV.28

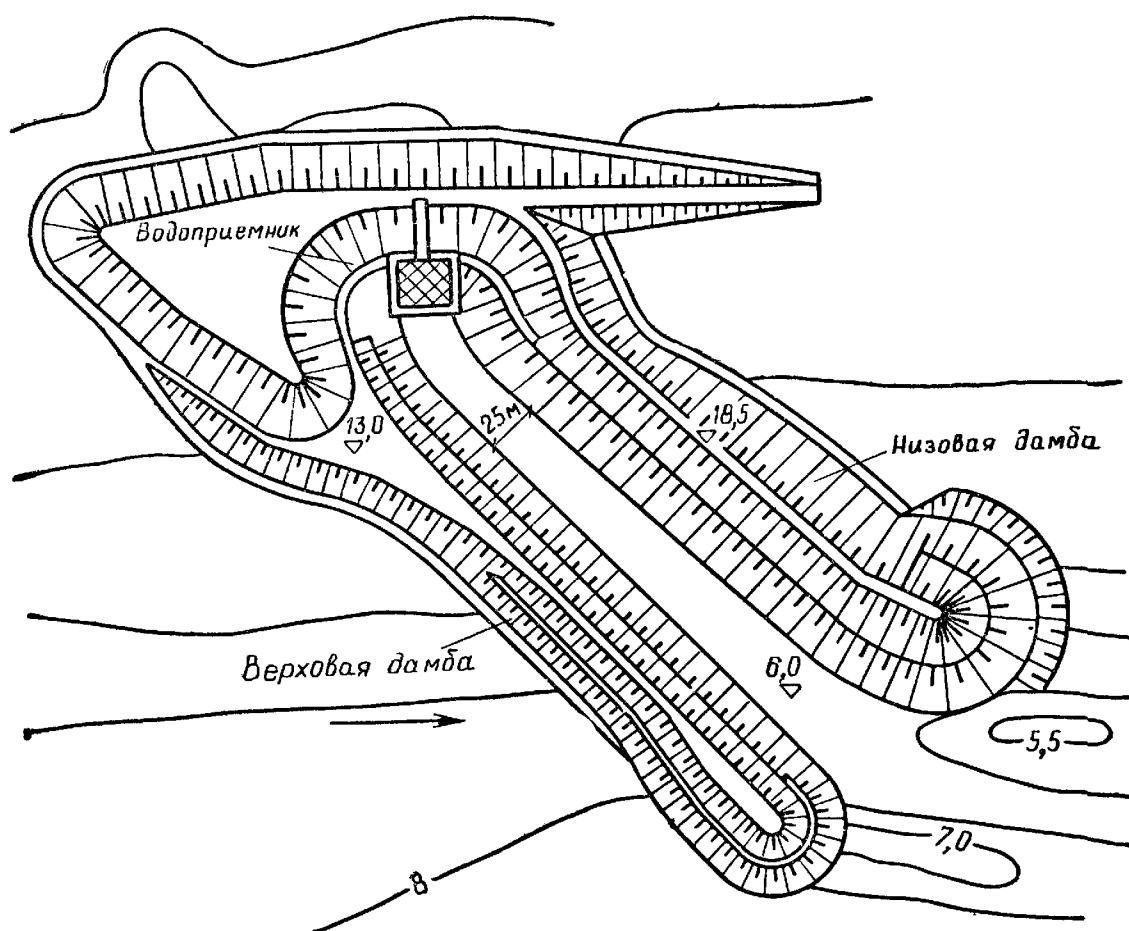


Рис. IV.29

На рис. IV.29 показан ковш с низовым входом, сильно вынесенный в русло. Ковш имеет затопляемую в паводок верховую дамбу и незатопляемую низовую дамбу, что обуславливает самопромывание ковша в паводок.

§ 62. ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМА ВОДЫ ИЗ РЕК С НЕДОСТАТОЧНОЙ ГЛУБИНОЙ

Иногда глубина воды в пределах всего поперечного сечения русла реки оказывается недостаточной для забора воды надлежащего качества. В таких случаях приходится прибегать к мероприятиям, позволяющим

увеличить глубину воды в реке у места водозабора. Эти мероприятия можно разделить на две основные группы: осуществление мероприятий первой группы приводит к созданию подпора у места водозабора, т. е. к местному повышению уровня воды в реке, мероприятия второй группы заключаются в углублении дна реки у водоприемника и обеспечении стабильности полученных глубин. Наконец, некоторые мероприятия ведут как к повышению уровня воды, так и к углублению дна в месте водозабора.

К специальным мероприятиям по углублению дна реки в месте водозабора относится устройство прорезей (подводных каналов) и различных регуляционных сооружений, обуславливающих такое переформирование потока, при котором обеспечиваются достижение требуемых глубин и стабильность дна. Прорези устраивают при помощи землечерпательных машин. Для большей устойчивости прорези направление ее выбирают в соответствии с направлением струи весеннего паводка (период наиболее сильного размывающего действия реки и наиболее высокого содержания в воде наносов); следует учитывать направление потока и при меженных уровнях. Прорезь делают сквозной. В большинстве случаев прорезь располагают у вогнутого берега реки. В процессе эксплуатации приходится периодически очищать прорезь от наносов.

Другим способом увеличения глубины у водоприемника является строительство водоподъемных плотин. К их сооружению приходится прибегать в тех случаях, когда глубина реки недостаточна для забора воды надлежащего качества и когда другие устройства для ее увеличения очень дороги или вовсе неприемлемы по местным условиям. Водоподъемные плотины, применяемые для обеспечения требуемых глубин в месте водозабора, могут быть глухими, т. е. с переливом воды через гребень (без затворов) или разборчатыми.

Плотина первого типа, обеспечивая требуемый уровень воды в реке, не позволяет регулировать уровень при сезонных изменениях расхода воды в реке. Кроме того, при глухих плотинах осложняется борьба с заилением верхнего бьефа. Глухие плотины применяют только при условии устройства промывного шлюза у водоприемника.

Строительство водоподъемных плотин позволяет также повысить величину возможного водозабора и, в некоторых случаях, обеспечивает сезонное регулирование стока.

Типы и конструкции плотин, применяемых для указанных целей, весьма разнообразны¹.

Разумеется, схема и конструкция плотинного узла сооружений должны учитывать характер использования реки для лесосплава, судоходства и рыбоводства.

Водоприемное сооружение может быть устроено отдельно или конструктивно объединено с плотиной. В первом случае могут быть использованы любые типы описанных речных водоприемников.

При конструктивном объединении водоприемника с плотиной он чаще всего совмещается с одним из устоев плотины или непосредственно к нему примыкает.

§ 63. ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМА ВОДЫ ИЗ ГОРНЫХ РЕК

Горные реки широко используются для целей водоснабжения. Малая загрязненность воды в их верхнем течении сточными водами дает им значительные преимущества при использовании в качестве источников питьевого водоснабжения. Кроме того, прием воды из горных рек

¹ Приводятся в курсе «Гидрология и гидротехнические сооружения».

иногда позволяет подавать ее потребителям самотеком. Имеются многочисленные примеры использования верхнего течения горных рек (иногда одновременно нескольких рек) для целей водоснабжения крупных и удаленных объектов. В ряде случаев при этом осуществляется регулирование и аккумуляция стока этих рек.

В то же время особенности режима течения горных рек создают часто значительные трудности для забора из них воды. Большие продольные уклоны верхних участков горных рек обуславливают наличие в них больших скоростей течения и относительно малых глубин. Горные реки влекут большое количество донных (относительно крупных) наносов, а также взвешенных наносов. Реки эти довольно часто обладают большой шугоносностью. На некоторых из них в период ливней наблюдаются сели. В отдельные периоды горные потоки несут много плавника. Расход их подвержен большим и резким колебаниям (иногда даже в течение суток). В предгорных участках нередко наблюдается значительная изменчивость русла рек.

Перечисленные особенности привели к необходимости создания водоприемных сооружений, специально приспособленных к работе в указанных условиях.

В большинстве случаев водоприемные сооружения на горных реках должны обеспечивать бесперебойное получение воды в условиях малых глубин, большого количества относительно крупных наносов и значительной шугоносности. Вследствие этого водоприем из горных рек весьма часто сопровождается созданием искусственного подпора и специальных устройств, препятствующих вовлечению наносов в водоприемник, а также осаждению вовлеченных наносов.

К числу специфических для горных рек типов водоприемных сооружений следует отнести донные решетчатые водоприемники. Пример устройства такого водоприемника, построенного на Кавказе, приведен на рис. IV.30. Русло реки перегорожено низкой бетонной глухой водосливной плотиной, образующей своеобразный водосливной порог. Между бычком и левобережным устоем в плотину врезана горизонтальная галерея, перекрытая решеткой. Вода, проходящая над этой галереей, поступает («проваливается») через решетку и отводится в водоприемную камеру, расположенную в левобережном устье. Конструкция водоприемной камеры предусматривает возможность ее промывки от задерживаемых в ней наносов. Водоприемная камера имеет обычно аварийные входные окна для забора воды на случай засорения или обмерзания решетки водоприемной галереи. Из приемной камеры вода по водоводам подается в первичные отстойники для осветления.

Конструкция такого водоприемника позволяет обеспечить прием воды при любых изменениях расхода и любых глубинах. Он может быть рекомендован для приема воды, содержащей относительно крупные наносы.

Этот тип водоприемника используют в широком диапазоне расходов (от 0,1 до 8 м³/с).

В целях предотвращения забивки решеток камнем, их устраивают из стали таврового сечения (ребром вниз). Ширина прозоров должна быть меньше преобладающих (60—90%) размеров донных наносов. Практически прозоры имеют ширину 6—12 мм. Для возможности очистки их и галереи решетки устраивают подъемными — отдельными секциями длиной 1—2 м.

В месте установки водоприемной решетки желательно иметь продольный уклон реки $i \approx 0,02$. Сама решетка должна иметь уклон (в направлении течения воды) 0,1—0,2.

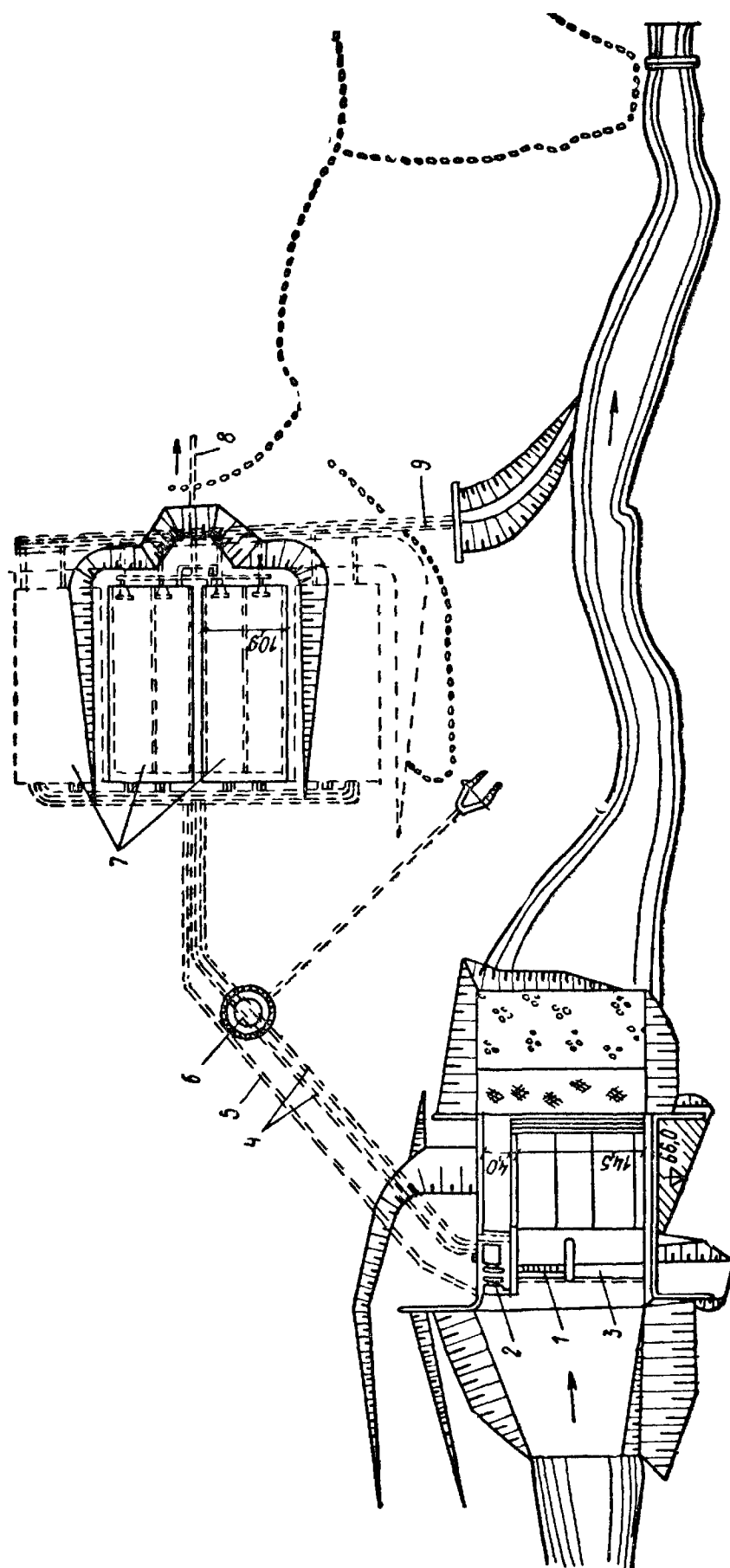


Рис. IV.30

1 — водоприемная часть плотины с решеткой; 2 — водоприемная камера; 3 — глухая водосливная часть плотины; 4 — подающие водоводы; 5 — промывной аварийный водовод; 6 — камера-регулятор; 7 — первичные отстойники; 8 — самотечный водовод; 9 — сброс промывной воды от отстойников

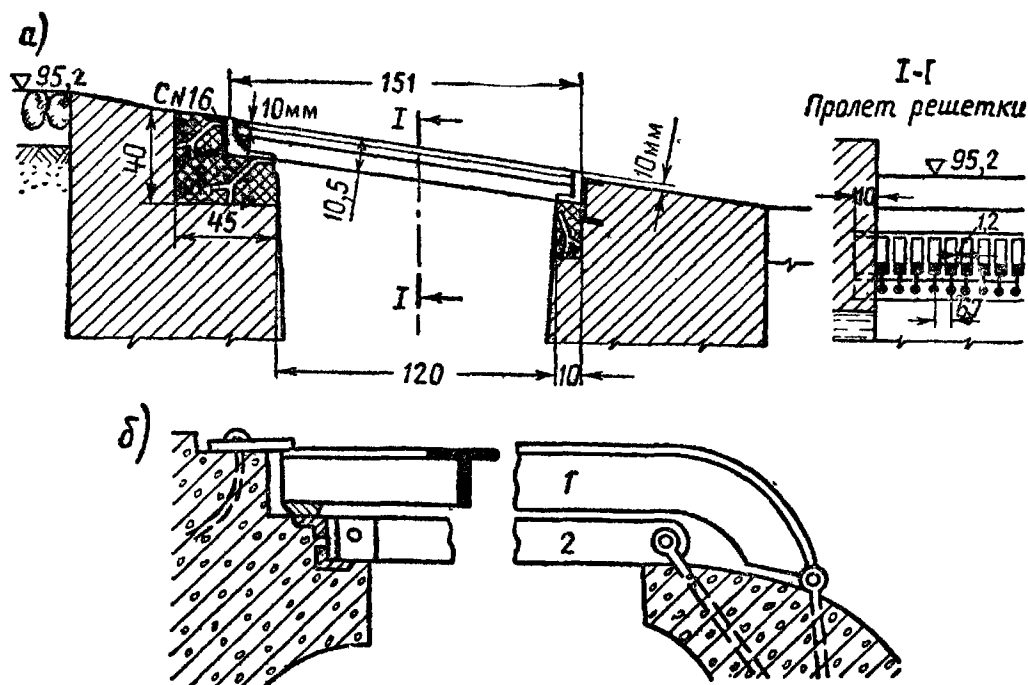


Рис. IV.31 (размеры в см)

Пример устройства одинарной решетки показан на рис. IV.31, а, а двойной — на рис. IV.31, б. Последние устраивают в случаях, когда река сносит крупные валуны. Верхняя решетка 1 из толстых стержней таврового сечения имеет прозоры 5—10 см и должна предохранять от повреждений нижнюю частую решетку 2, служащую для задержания наносов. Звенья решетки укреплены на шарнирах для возможности их поднятия при очистке галерей.

Галерея имеет поперечное сечение в виде прямоугольника со скошенными углами. Ширину ее обычно принимают в пределах 1—2 м, начальную глубину — в зависимости от расчетного расхода. Дно галереи имеет продольный уклон $i=0,2—0,4$. Средняя скорость в конечном сечении галереи достигает 2—2,5 м/с.

Рассмотренный тип водоприемного сооружения применяется в различных вариантах и видоизменениях. Иногда перед донным водоприемником для снижения количества поступающих в него наносов устраивают специальную наносоперехватывающую галерею, располагаемую параллельно водоприемной галерее. Наносоперехватывающие галереи имеют различные конструкции, обеспечивающие их промывку от задержанных наносов.

В некоторых сооружениях конструкция донного водоприемника предусматривает возможность одновременного приема речной и подрусловой воды.

Тип водоприемных сооружений на горных реках в высокой степени зависит от сочетания местных природных условий. Вследствие этого в практике нашли применение разнообразные конструкции этих сооружений¹.

Следует отметить, что все используемые для забора воды из горных

¹ Многие типы и конструкции водоприемных сооружений на горных реках, так же как и другие специальные типы водоприемников, подробно и систематически описаны в книге «Специальные водозаборные сооружения». М., Стройиздат, 1963. Авторы Ф. И. Бондарь, Н. В. Ереснов, С. И. Семенов и И. Е. Суров учли богатый опыт проектирования и строительства водоприемных сооружений в СССР.

рек типы водоприемников не являются достаточно надежными в смысле обеспечения бесперебойности работы.

§ 64. ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМА ВОДЫ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ И ОЗЕР

Все вопросы, связанные с проектированием и сооружением водохранилищ, методы регулирования речного стока, водохозяйственные расчеты, а также типы гидротехнических сооружений, применяемых при устройстве водохранилищ, рассмотрены в курсе «Гидрология и гидротехнические сооружения». Здесь даются лишь основные сведения о специфических особенностях водохранилищ как источников водоснабжения, о качестве воды водохранилищ и условиях их эксплуатации.

Для целей водоснабжения могут использоваться или специально построенные водохранилища или водохранилища, используемые одновременно для многих целей.

В результате развития гидроэнергетического строительства в нашей стране уже сейчас (когда имеющиеся гидроэнергетические ресурсы еще далеко не полностью использованы) наиболее крупные реки европейской части СССР превратились на значительной части своего протяжения в систему больших водохранилищ.

В маловодных районах Средней Азии, где относительно малый и неустойчивый сток местных рек не обеспечивает сколько-нибудь надежного снабжения потребителей водой, только строительство водохранилищ позволяет удовлетворить нужды орошения и водоснабжения.

Наконец, громадное количество относительно малых водохранилищ создано на небольших реках специально для целей водоснабжения.

Таким образом, в практике водоснабжения, основанного на использовании поверхностных вод, приходится все чаще встречаться с необходимостью приема воды из водохранилищ.

При проектировании и строительстве водоприемных (а также очистных) сооружений на водохранилищах необходимо учитывать изменения, вносимые водохранилищем в естественный гидрологический режим реки, а также влияние его на качество речной воды и на сезонные колебания ее качества, особенно если вода предназначена для питьевых нужд.

Характер изменения уровней воды в водохранилищах существенно отличается от характера изменений уровней воды в незарегулированной реке. В водохранилищах, сооружаемых для нужд гидроэнергетики и транспорта, колебание уровней воды обусловливается в основном запланированным режимом эксплуатации (сработки) водохранилища для указанных целей.

При устройстве водоприемных сооружений на крупных водохранилищах должны быть учтены возможные воздействия ветровых волн, явления сгона и нагона воды, береговые течения, ледовые явления, явления переформирования берегов водохранилищ, а также характер отложения наносов в чаше водохранилища.

Создание водохранилищ существенно влияет на основные характеристики качества речной воды. Прежде всего значительно снижается количество взвешенных веществ. Так, по проведенным наблюдениям количество взвеси снизилось в Клязьминском водохранилище (под Москвой) с 81 до 2—8 г/м³, в Цимлянском водохранилище (на р. Дон) с 168 до 20—40 г/м³; в Фархадском водохранилище (на р. Сырдарье) с 1645 до 60—100 г/м³ и т. д.¹

¹ Гигиена водохранилищ. Сборник статей. М., Медгиз, 1961.

Таким образом, водохранилище служит громадным первичным отстойником речной воды.

Цветность воды водохранилищ обычно выше цветности воды их реки в естественном состоянии, поскольку заполнение водохранилищ происходит преимущественно паводковой водой, обладающей повышенной цветностью. Так, вода Рыбинского водохранилища имеет цветность 66° в феврале и 61° в августе, тогда как цветность воды р. Волги в естественном состоянии в эти же месяцы составляет соответственно 21 и 48°. В период половодья цветность речной воды, наоборот, часто оказывается выше, чем цветность воды водохранилища.

Большие водохранилища обычно оказываются менее засоренными сапрофитными бактериями, а также кишечной палочкой.

Образование водохранилищ часто способствует интенсивному развитию водорослей.

Санитарные качества воды водохранилищ в значительной степени зависят от тщательности и полноты проведения мероприятий по очистке ложа водохранилища до его заполнения¹. Объем работ по санитарной подготовке ложа крупных водохранилищ весьма велик.

Обычно сезонные колебания качества речной воды после создания водохранилища значительно сглаживаются.

При строительстве водохранилищ предусматриваются мероприятия по борьбе с их заилением, а также эрозией почв в береговой зоне.

На крупных водохранилищах производятся большие работы по укреплению берегов в целях их предохранения от размыва волнением.

Для задержания поверхностного стока и улучшения его качества до поступления в водохранилища проводятся агролесомелиоративные мероприятия, в частности посадка в береговой зоне водохранилища защитных полос зеленых насаждений.

При использовании воды водохранилищ в целях водоснабжения следует учитывать возможность ее загрязнения от водного транспорта, лесосплава, а также в результате сброса сточных вод, распространение которых в водохранилищах существенно отличается от распространения их в реках.

Весьма ответственной задачей является выбор места забора воды из водохранилища. Очевидно, что водоприемник должен быть расположен в таком месте, где он может принимать наиболее чистую воду.

В месте расположения водоприемника должна быть обеспечена достаточная глубина, не должны происходить интенсивное выпадение наносов, размыв берегов, неблагоприятные ледовые явления, развитие водной растительности и т. п. В водохранилищах, используемых комплексно для различных нужд народного хозяйства, при выборе места забора воды для целей водоснабжения необходимо учитывать еще целый ряд факторов, связанных с характером эксплуатации водоема другими водопользователями: режим сработки водохранилища для нужд ГЭС, забор и сброс воды промышленными предприятиями, расположение и режим работы сооружений речного транспорта, лесосплав и т. п.

Выбору места расположения водоприемника должно предшествовать также тщательное изучение образующихся в водохранилище течений, которые обуславливают распространение поступающих в воду загрязнений.

¹ В 1959 г. Государственной санитарной инспекцией утверждены «Санитарные правила по подготовке ложа водохранилищ и каналов к затоплению и санитарной охране их», обязательные для всех организаций, строящих водохранилища.

Для приема воды из водохранилищ могут быть использованы речные водоприемные сооружения большинства описанных ранее типов.

В отдельных случаях водоприемные сооружения объединяются с гидротехническими сооружениями, построенными для создания водохранилища и его эксплуатации, для нужд гидроэнергетики или водного транспорта. Такие водоприемники конструктивно совмещаются с плотиной (путем устройства водоприемных шахт и галерей в теле плотины), с башнями донных водоспусков и т. п.

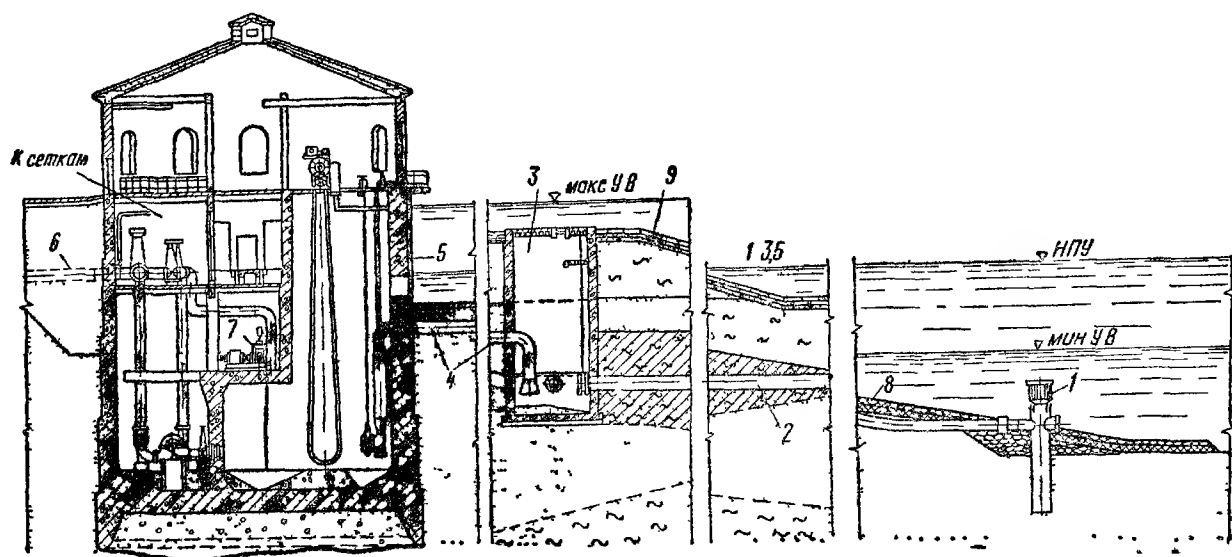


Рис IV 32

Однако чаще прием воды из водохранилища осуществляется отдельно стоящими водоприемными сооружениями.

Указанные выше особенности приема воды из водохранилищ и качества этой воды в определенной мере влияют на выбор типа водохранилищных водоприемников.

Интенсивная переработка берегов, обуславливающая образование широкой береговой зоны отложения наносов и зоны замутненной воды, часто приводит к необходимости вынесения места забора воды в водохранилище на значительное расстояние от берега (т.е. применение сооружений руслового типа).

Весьма значительные колебания уровней воды в водохранилище при его сработке для ГЭС делают рациональным применение комбинированных водоприемников, где вода может забираться и через самотечные трубы и через входные окна в передней стенке берегового колодца.

На рис. IV.32 приведен пример водоприемника комбинированного типа, построенного на Куйбышевском водохранилище в условиях весьма больших (более 12 м) колебаний уровня воды. Основное сооружение, выполненное в виде железобетонной шахты, представляет собой береговой колодец, совмещенный с насосной станцией. При нормальном подпорном уровне (НПУ) и более высоких уровнях вода может поступать в береговой колодец через входные окна в его передней стенке. При низких уровнях прием воды осуществляется через специальный оголовок 1, вынесенный в бывшее (до затопления) русло реки и соединенный с береговым колодцем самотечными трубами 2 (от оголовка до промежуточного колодца 3) и сифонными трубами 4 (от промежуточного колодца 3 до берегового колодца 5). Длина самотечных труб 80 м, длина сифонных труб около 1000 м.

Трубы 4 работают как сифонные лишь при уровнях воды, близких к наинижнему уровню (при максимальной сработке водохранилища); при более высоких уровнях они превращаются в обычные самотечные линии.

Насосная станция оборудована центробежными насосами, подающими воду в напорные водоводы 6, а также вакуум-насосом 7 для зарядки сифонов.

В пределах изменений уровня воды берега и дно реки у оголовка укреплены хворостяным тюфяком с пригрузкой камнем 8 или бетонными плитами 9.

Устройство оголовка 1 (см. рис. IV.32) показано на рис. IV.33. Оголовок выполнен из вертикально расположенной стальной трубы 1, заглубленной на 5 м в грунт. К этой трубе присоединяются самотечная труба 2 и отросток 3, служащий для обратной промывки самотечной линии. Отросток закрывается крышкой с клиновым запором и цепью 4. Вода поступает в оголовок через верхний конец стояка, оборудованный решеткой 5 по периметру и по торцу.

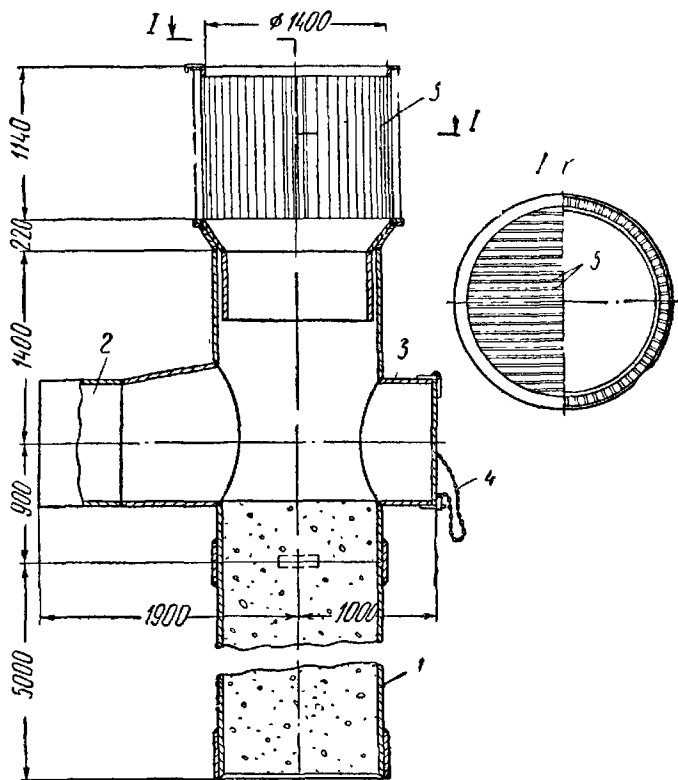


Рис. IV.33

На водохранилищах находят применение водоприемники с аванкамерой открытого типа. На рис. IV.34 показан пример устройства такого водоприемника для крупного промышленного предприятия. Учитывая вероятный характер переработки берега, водоприемник (совмещенный с насосной станцией) отнесен на 600 м в глубь берега; вода от водохранилища подводится к нему по каналу: ширина по дну 3 м, коэффициент откосов $m=2$ и глубина воды 4 м (при нормальном подпорном уровне). Открытая аванкамера водоприемника оборудована наклонной сорудерживающей решеткой 1 и пазами для щитовых затворов 2. Из аванкамеры вода проходит под забральной стенкой и поступает во всасывающее отделение. Насосная станция оборудована четырьмя вертикальными пропеллерными насосами 3. Электродвигатели 4 установлены в наземном павильоне.

По напорным водоводам диаметром 1200 мм вода подается через камеру 5 в самотечный открытый канал, подводящий ее к потребителям. Отделение головной камеры 5 канала оборудовано щитовыми затворами 6, а концы водоводов снабжены обратными клапанами 7.

Кроме указанных типов водоприемных сооружений для забора воды из водохранилищ используют водоприемники островного типа, инфильтрационные, плавучие и др.

Условия приема воды из озер во многом подобны имеющимся на водохранилищах. Так, в крупных озерах необходимо учитывать наличие волнения, взмучивания наносов в прибрежной зоне, воздействия волн на водоприемные сооружения, сгонов и нагонов воды. Как и в

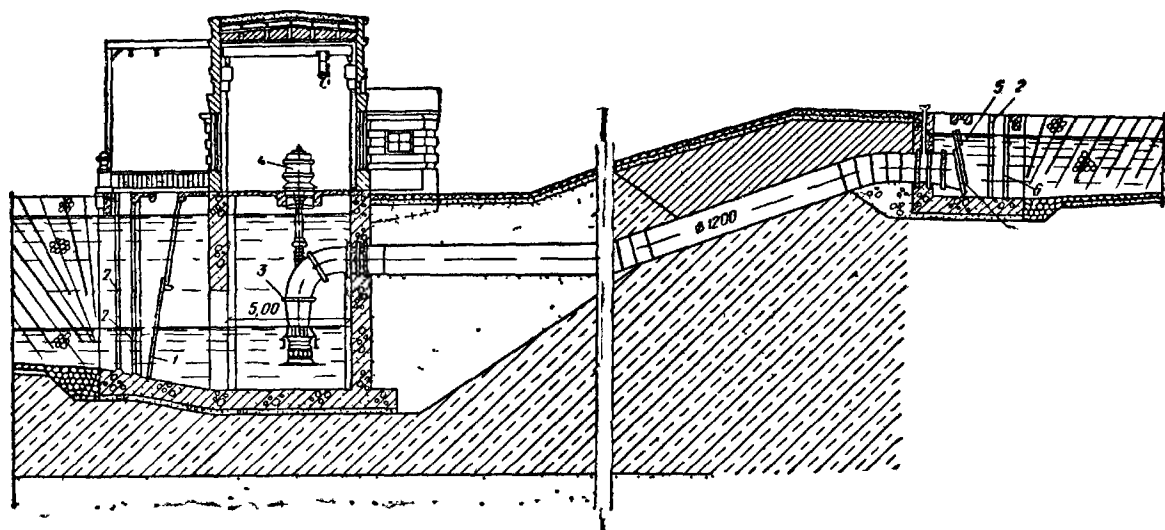


Рис. IV.34

водохранилищах, в озерах необходимо учитывать специфические условия загрязнения их воды сточными водами.

Берега естественных озер в отличие от берегов водохранилищ обладают стабильностью, а уровень воды в них не подвержен сколь угодно значительным колебаниям.

Пресные озера широко используются как источники питьевого водоснабжения. Вне береговой зоны и на достаточно больших глубинах качество озерной воды с санитарной точки зрения часто оказывается весьма высоким.

На озерах находят применение водоприемные оголовки различных типов; иногда их выносят далеко в озеро для обеспечения приема воды возможно более высокого качества.

На крупных озерах находят применение также незатопляемые водоприемные оголовки (островного типа), иногда вынесенные в озеро на весьма большое расстояние от берега и соединенные с берегом водоводами, уложенными по дну озера. Конструкция таких оголовков должна быть рассчитана на сопротивление воздействию волн и льда.

§ 65. ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМА ВОДЫ ИЗ МОРЕЙ И УСТРОЙСТВА МОРСКИХ ВОДОПРИЕМНИКОВ

Морская вода используется в основном для приморских теплосиловых электростанций, а также для производственных нужд некоторых видов промышленных предприятий (преимущественно для целей охлаждения).

При выборе способа забора воды из моря, а также типа и конструкции морских водоприемных сооружений необходимо учитывать следующие специфические условия и характеристики морского побережья:

- а) колебания уровня воды, обусловленные приливами и отливами, волнением, нагоном, а также морские течения;
- б) значительную силу удара волн;
- в) геологическое строение морского побережья, взмучивание наносов в прибрежной зоне, образование отмелей, подмыв берега, оползневые явления;

- г) наличие в морской воде водорослей, моллюсков и микрофлоры;
- д) коррозионные свойства морской воды;
- е) характер ледовых явлений в районе водоприема.

Прием воды из моря для целей водоснабжения возможен из искусственно защищенных акваторий портов, из естественно защищенных бухт или на открытых побережьях.

Только тщательное изучение всех названных условий позволяет правильно выбрать тип водоприемного сооружения, обеспечивающий его бесперебойную работу.

Наибольшие удобства для расположения морских водоприемников предоставляет акватория порта, хорошо защищенная от воздействия больших волн, с надежно укрепленной береговой линией, защищенная от обмеления и находящаяся в значительно более благоприятных ледовых условиях, чем открытые побережья.

Для сооружений, принимающих морскую воду, характерно так называемое биообрастание поверхностей, соприкасающихся с водой, т. е. образование на них биологической пленки (состоящей из органических илистых частиц и бактерий). На этой пленке поселяются различные водоросли и морские животные, в частности моллюски. Биообрастанию подвергаются решетки и сетки водоприемника, затворные устройства, арматура, внутренние поверхности водоводов, охлаждающая аппаратура, теплообменные аппараты и т. п. Особенно интенсивно идет процесс биообрастания в теплых морях (в Черном море, например, интенсивность биообрастания достигает 5—6 кг/м² в месяц; в тропиках она еще больше). Кроме того, решетки и сетки морских водоприемников могут засоряться в результате интенсивного (сезонного) развития планктона, т. е. цветения воды, а также в результате нагона к водоприемнику крупной морской растительности. Указанные обстоятельства должны быть учтены как в конструкции сорозадерживающих приспособлений водоприемника, так и в методах их эксплуатации.

Степень агрессивности морской воды (зависящая от содержания в ней различных солей) должна быть учтена при выборе материала, применяемого для строительства водоприемных сооружений (например, сорт цемента для бетонных конструкций), а также при устройстве на них специальных изоляционных защитных покрытий.

На рис. IV.35 показано устройство водоприемного сооружения, расположенного на территории порта. Передняя стенка берегового колодца 1 находится в одной плоскости со стенкой набережной для причала судов. Перекрытие его расположено на одном уровне с поверхностью набережной, чтобы не мешать погрузочно-разгрузочным операциям. Вода поступает в береговой колодец через входные окна 2 в его передней стенке, перекрытые грубой решеткой с прозорами в 0,1 м.

По условиям работы порта здание грубой механической очистки и насосная станция удалены от моря на 80 м. Из берегового колодца вода направляется по самотечной двухсекционной железобетонной галерее 3, имеющей смотровые колодцы 4, в здание механической очистки. Здесь вода проходит последовательно через наклонные решетки 5 (оборудованные механическими щетками для их очистки) и вращающиеся сетки 6. Из всасывающего отделения 7 вода забирается трубами насосов 8 и по напорным водоводам подается к теплосиловой электрической станции.

Как видно, здесь предусмотрены усиленные устройства для механической очистки воды. Кроме того, наличие двух секций в проходной

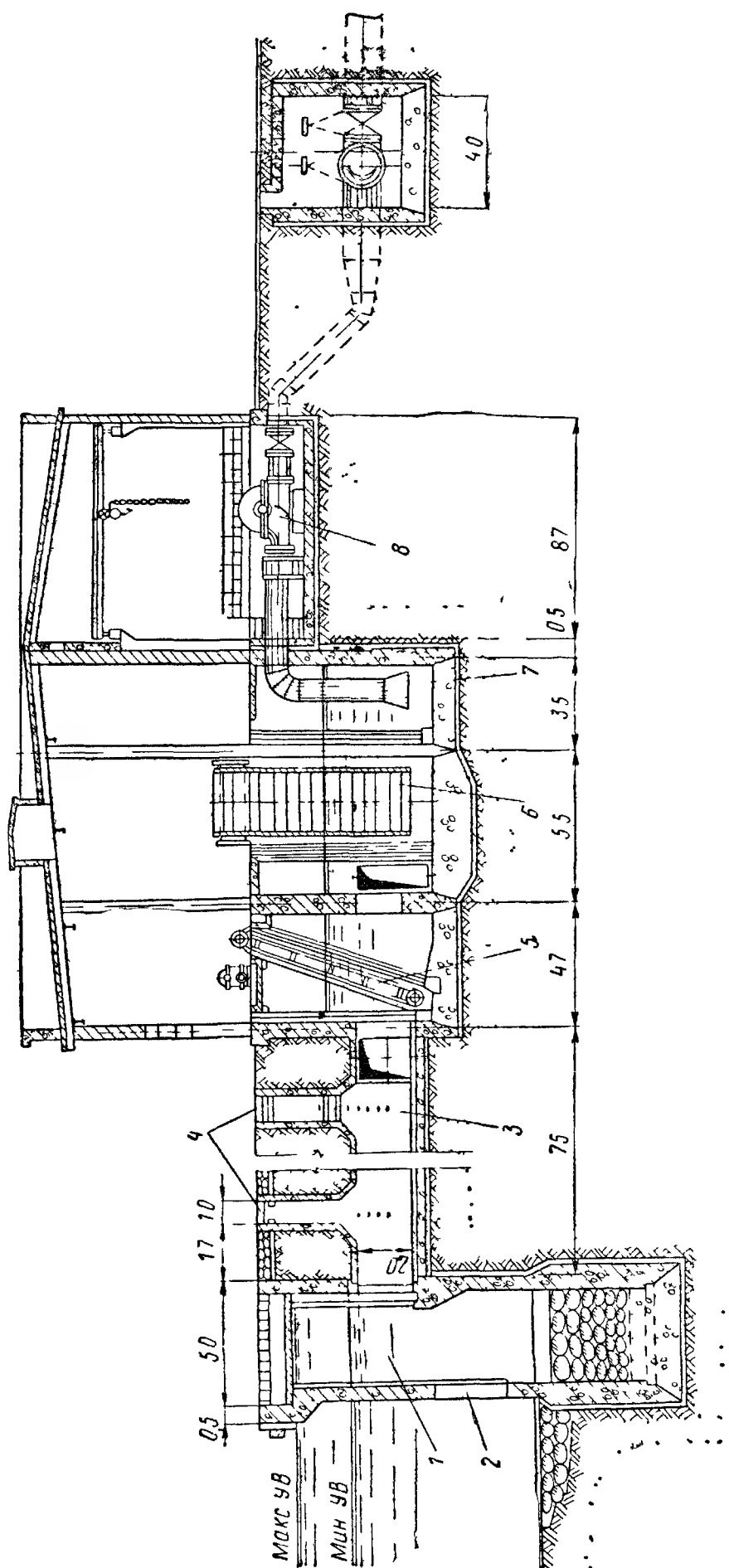


Рис IV 35

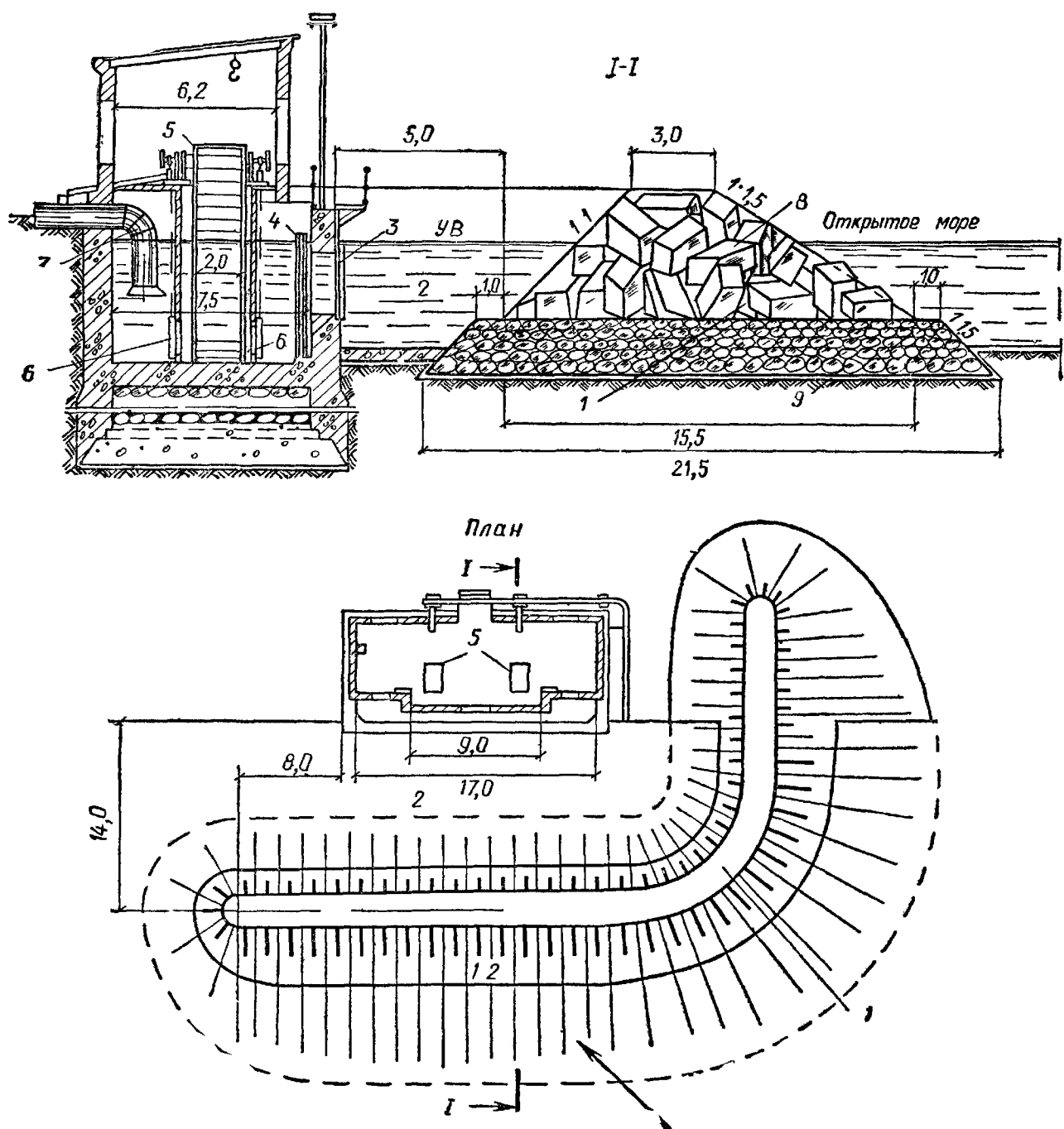


Рис IV 36

галерее позволяет периодически очищать ее от осадка и обрастания.

Конструкция водоприемников, располагаемых на открытых морских побережьях, должна быть рассчитана на сопротивление значительным нагрузкам от ударов волн и льда. В этих условиях находят применение водоприемные сооружения берегового типа с защитными дамбами, сооружения с затопленными приемными оголовками и сооружения с незатопленными оголовками островного типа.

На рис. IV.36 показан морской береговой водоприемник с защитной дамбой. Дамба 1 образует перед фронтом водоприемника своеобразный ковш — отстойник 2. Дамба принимает на себя всю силу ударов волн. Входные окна водоприемника снабжены грубыми решетками 3 и двойными съемными плоскими сетками 4. Далее вода проходит через вращающиеся сетки 5. Плоские сетки предназначены для работы при аварийной остановке вращающихся сеток. Через отверстия, за-

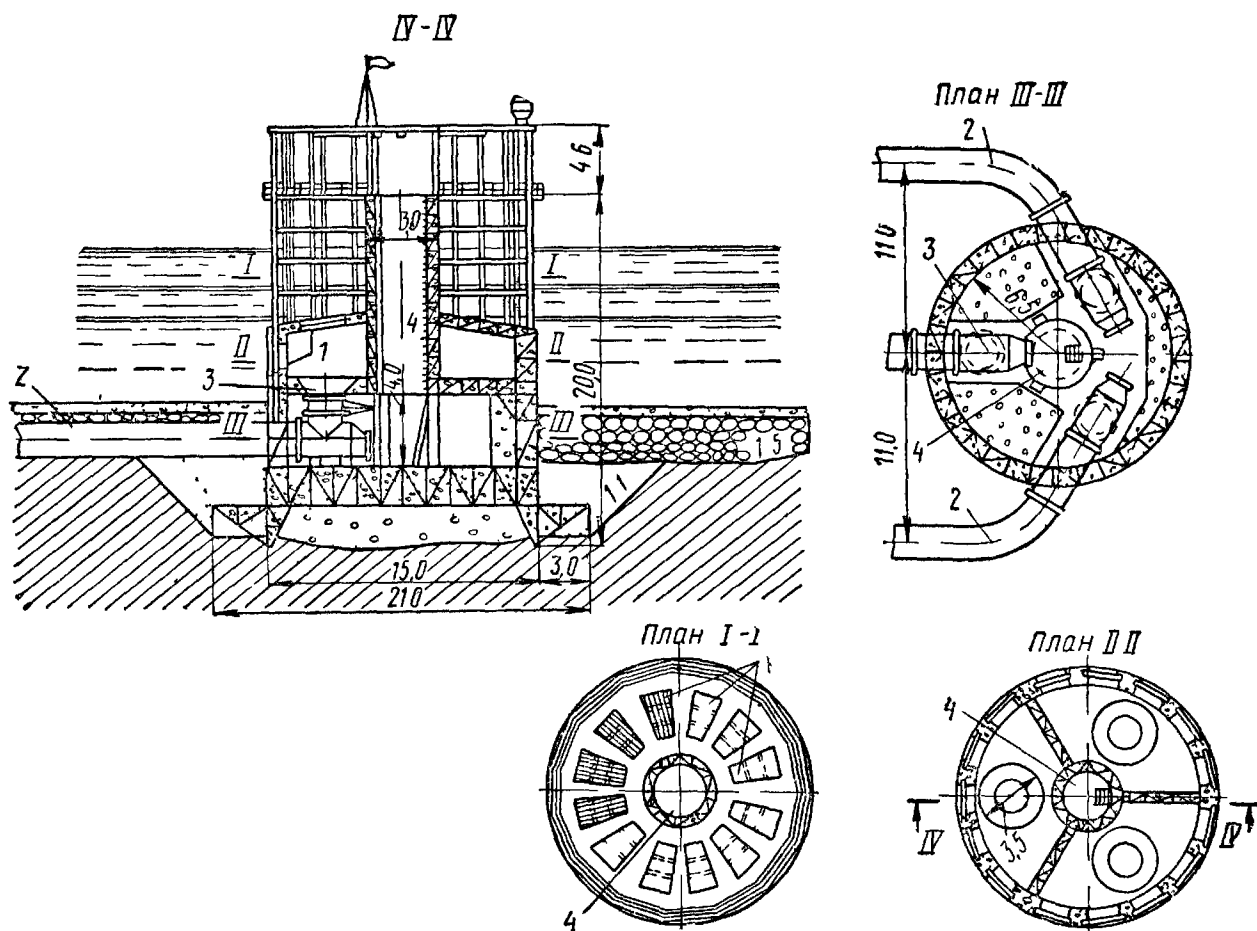


Рис. IV.37

крываемые дроссельными затворами 6, вода поступает во всасывающее отделение, откуда забирается всасывающими трубами насосов 7. Дамба сооружена из бетонных массивов 8, лежащих на слое каменной наброски 9.

На рис. IV.37 схематически показано устройство незатопляемого (островного) приемного оголовка для крупного производственного водопровода. Оголовок по условиям качества воды и движения наносов вдоль берега вынесен в море на расстояние около 1 км от берега. Стенки подводной части оголовка образованы двумя концентрически расположенными стальными цилиндрами с заполнением промежутка между ними шириной 1 м бетоном. Вода поступает внутрь оголовка через входные окна 1, расположенные в коническом перекрытии подводной части и в ее цилиндрической стенке.

Оголовок разделен на три секции, из которых вода отводится по трем отдельным самотечным трубам 2 диаметром 2 м через приемные раструбы 3, снабженные затворами.

В центре водоприемника располагается цилиндрическая железобетонная шахта 4 внутренним диаметром 3 м, предназначенная для спуска в подводную часть. Надводная часть оголовка представляет собой решетчатую конструкцию вокруг центральной шахты, поддерживающую перекрытие для оборудования.

Самотечные трубы подводят воду к береговой водоприемной камере с расположенными в ней вращающимися сетками. Из этой камеры вода поступает по каналу к насосам. Приемная камера и насосная станция расположены на берегу на расстоянии 130 м от уреза воды.

Очистка самотечных труб от заиления и биообрастания производится механическим способом при выключении отдельных линий.

На рис. IV.38 показана схема водоприемных сооружений, предусматривающая подвод воды к водоприемнику 1 открытым каналом 2, вход в который защищен дамбой-волноломом 3. Такой метод приема воды позволяет предотвратить значительные волнения у водоприемника и интенсивное занесение в него наносов.

В целях борьбы с биообрастанием трубопроводов, оборудования и арматуры при использовании морской воды применяют ее постоянное хлорирование дозами 1,5—5 мг/л, периодическую промывку труб горячей сбросной производственной водой или обработку воды медным купоросом (дозами 6,5—7 мг/л в течение 1 ч 1 раз за 2 суток).

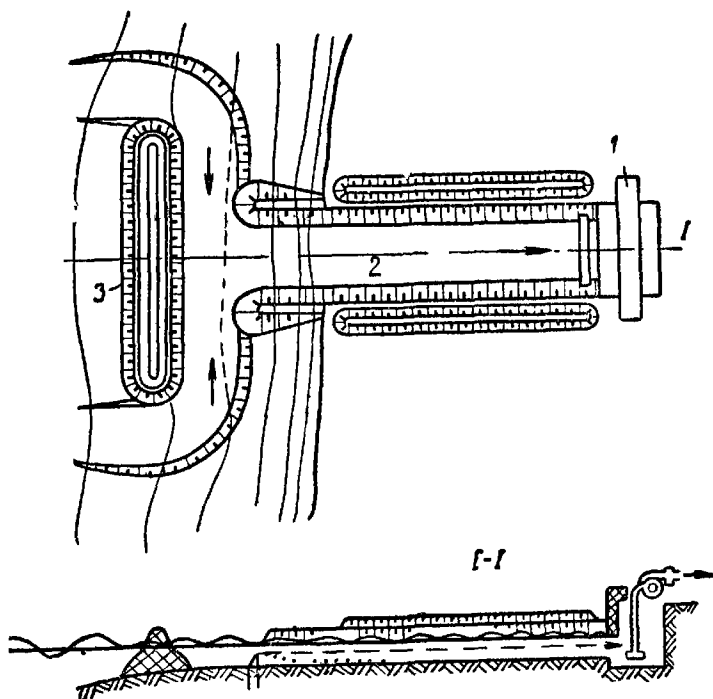


Рис IV.38

Глава 14

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИЕМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

§ 66. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ПРИЕМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Подземные воды залегают на различных глубинах и в различных породах. Обладая высокими санитарными качествами, эти воды особенно ценны для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных мест. Наибольший интерес для водоснабжения представляют воды напорных водоносных пластов, перекрытых сверху водонепроницаемыми породами, предохраняющими подземные воды от поступления в них каких-либо загрязнений с поверхности земли. Однако для целей водоснабжения нередко используются также безнапорные подземные воды со свободной поверхностью, содержащиеся в пластах, не имеющих водонепроницаемой кровли. Кроме того, для целей водоснабжения используются родниковые (ключевые) воды, т. е. подземные воды, самостоятельно выходящие на поверхность земли. Наконец, в отдельных случаях для производственного водоснабжения используются так называемые шахтные и рудничные воды, т. е. подземные воды, поступающие в водоотливные и водопонизительные сооружения при добыче полезных ископаемых.

Для приема подземных вод применяются сооружения следующих типов:

- 1) трубчатые буровые колодцы (скважины);
- 2) шахтные колодцы;
- 3) горизонтальные водосборы;
- 4) лучевые водосборы;
- 5) сооружения для каптажа родниковых вод.

§ 67. КОНСТРУКЦИИ И УСТРОЙСТВО ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ

Трубчатые буровые колодцы устраивают путем бурения в земле вертикальных цилиндрических каналов — скважин. В большинстве пород стенки скважин приходится укреплять обсадными (чаще всего стальными) трубами, образующими трубчатый колодец. В пределах водоносного пласта для возможности приема воды из грунта колодец оборудуют специальными фильтрами.

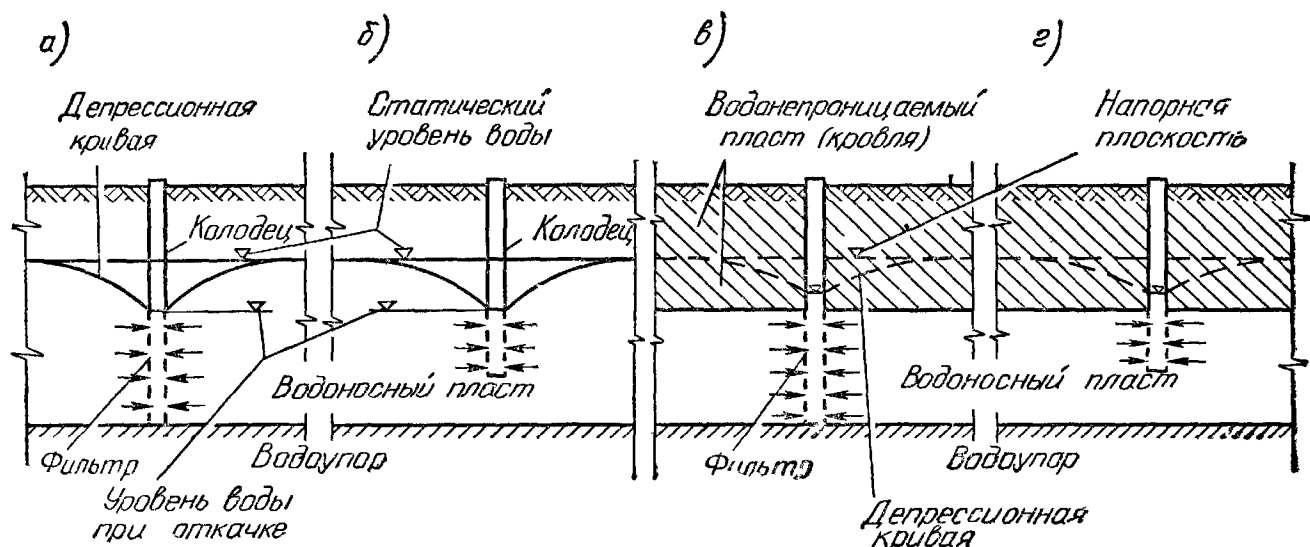


Рис. IV.39

Трубчатые колодцы применяют обычно при сравнительно глубоком залегании водоносных пластов и значительной мощности этих пластов. В связи с этим их характерной особенностью является относительно малый диаметр (облегчающий прохождение большой толщи пород) и относительно большая длина водосборной части.

Трубчатые колодцы могут использоваться для приема как безнапорных (рис. IV.39, а и б), так и напорных (рис. IV.39, в и г) подземных вод. И в том и в другом случае они могут быть доведены до подстилающего водоупорного пласта — «совершенные колодцы» (рис. IV.39, а и в) или заканчиваться в толще водоносного пласта — «несовершенные колодцы» (рис. IV.39, б и г).

Обычно для централизованных систем водоснабжения устраивают несколько трубчатых колодцев, объединенных в группу водосборных сооружений. Состав и схема этих сооружений зависят в основном от метода извлечения воды из колодцев, который в свою очередь зависит от глубины расположения уровня воды по отношению к поверхности земли.

Конструкция трубчатого колодца зависит от глубины залегания подземных вод, характера проходных горных пород и способа бурения. В свою очередь способ бурения принимается в зависимости от требуемой глубины колодца¹.

На рис. IV.40 показана схема устройства простейшего бурового колодца. Стенки вертикального цилиндрического канала (скважины), получаемого в результате бурения, закрепляют опускаемой в него стальной обсадной трубой 1. Эту трубу опускают приблизительно до верхней границы залегания водоносных пород. В большинстве случа-

¹ Способы бурения скважин излагаются в курсе технологии и организации строительных работ.

ев эти породы представляют собой насыщенные водой пески, песчано-гравелистые или скальные трещиноватые породы.

В обсадную трубу 1 опускают трубу 2 меньшего диаметра, которую доводят обычно до нижней границы залегания водоносных пород, несколько заглубляя в подстилающие водонепроницаемые породы (рис. IV.40, а). Затем в трубу 2 опускают фильтр (рис. IV.40, б) (представляющий собой обычно трубу с перфорированной — дырчатой или щелевой — частью 3), предназначенный для защиты колодца от зане-

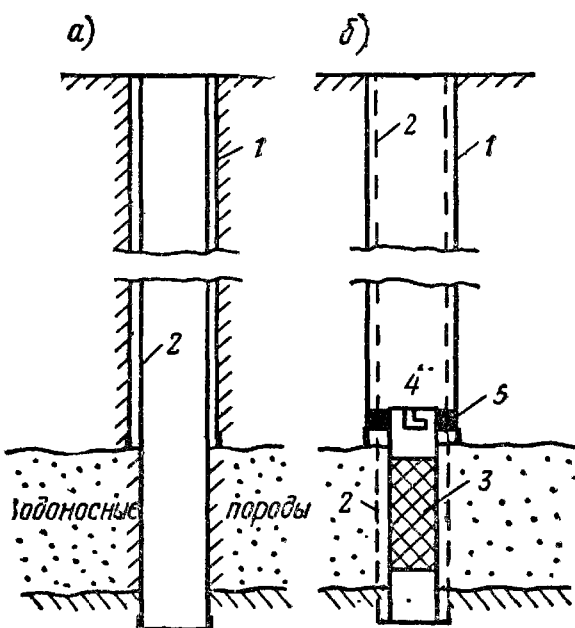


Рис. IV.40

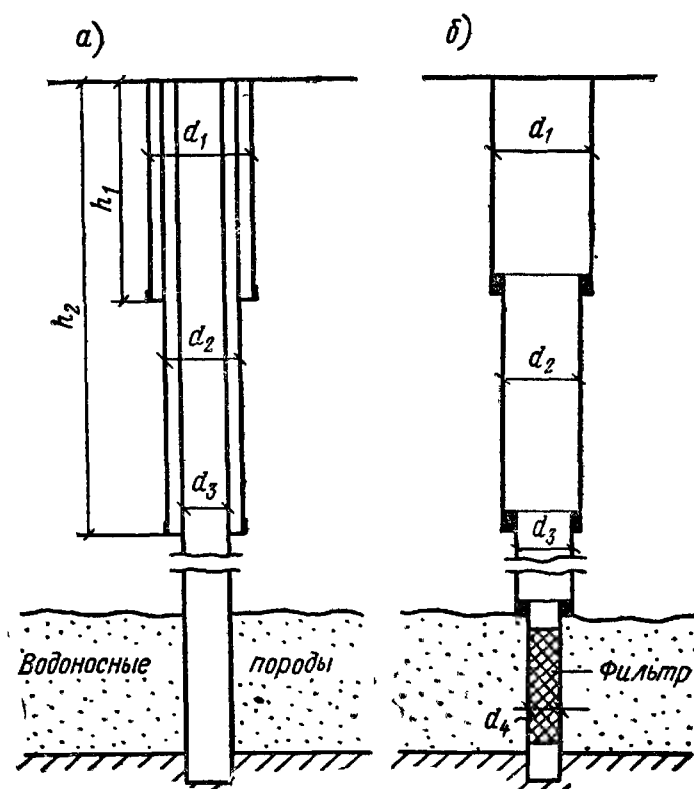


Рис. IV.41

сения в него вместе с водой частиц грунта из водоносного слоя. Конструкции фильтров описаны в § 68. Фильтр, диаметр которого должен быть меньше внутреннего диаметра трубы 2, опускается в нее при помощи штанг и специальных замков 4 в его верхней части. После установки фильтра трубу 2 удаляют из скважины, а кольцевое пространство между стенками фильтровой трубы и обсадной трубой 1 уплотняют путем устройства сальника 5. После изъятия из скважины трубы 2 колодец принимает вид, показанный на рис. IV.40, б.

В буровом колодце обычно различают водоприемную часть (фильтр), ствол, т. е. глухую часть скважины, по которой поднимается вода, и устье, т. е. соответствующим образом оборудованную выходную часть; устье обычно располагается в специальном павильоне.

При залегании водоносных пород на большой глубине достигнуть их одной обсадной трубой не удастся ввиду значительного возрастания сопротивления грунта погружению обсадных труб. В этих условиях используют несколько обсадных труб постепенно уменьшающегося диаметра (рис. IV.41, а). После того как трубой диаметром d_1 достигнута наибольшая возможная глубина h_1 , в нее опускают трубу ближайшего меньшего диаметра d_2 , погружаемую на глубину h_2 от поверхности земли, но испытывающую сопротивление грунта лишь на высоте $h_2 - h_1$. Если требуемая глубина не достигнута второй трубой,

в нее вводят третью трубу еще меньшего диаметра d_3 и т. д. Наконец, в нижней части последней трубы устанавливают фильтр, а трубу подтягивают на высоту, соответствующую высоте фильтра. Все обсадные трубы, кроме наружной, обрезают на требуемом уровне специальным труборезом изнутри, и кольцевое пространство между концами смежных труб тампонируют (обычно цементным раствором). В результате буровой колодец получает телескопический вид (рис. IV.41, б).

«Выход» (т. е. высота $h_2 - h_1$ и т. д.) одной обсадной трубы различен для разных способов бурения: при ручном ударном вращательном бурении он достигает 20—25 м, при механическом ударном бурении — 30—50 м, при роторном бурении — 400—500 м.

Верхняя колонна труб (наибольшего диаметра) телескопического колодца обычно опускается на относительно небольшую глубину (7—12 м) и служит своего рода направляющей для обеспечения правильного вертикального положения колодца.

В некоторых случаях в целях защиты колодца от проникновения в него загрязненных почвенных вод (в результате коррозии внешней трубы) вторую обсадную трубу не обрезают, заполняя пространство между первой и второй трубой цементным раствором на всю высоту.

Трубчатый колодец должен быть выполнен строго вертикальным и прямым, особенно при использовании для подъема воды артезианских насосов с длинным валом.

Оборудование устья (оголовков буровых колодцев) описано в § 71.

§ 68. ФИЛЬТРЫ ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ

Фильтр является ответственной частью бурового колодца: от того, насколько правильно и надежно устроен фильтр, в высокой степени зависит качество работы всего колодца.

Фильтры (рис. IV.42) состоят из рабочей части 1 (через которую в колодец поступает вода), верхней надфильтровой глухой части 2 с замком 3 для возможности опускания и установки фильтра и нижней также глухой части 4, которая служит сборником для проникающих в колодец мелких частиц грунта.

Высоту рабочей части фильтра принимают в соответствии с мощностью используемого водоносного слоя в результате расчета на пропуск требуемого количества воды. Высота отстойной части изменяется в пределах от 1,5 м (при глубине колодца до 15 м) до 10 м (при глубине колодца более 90 м). Высота надфильтровой части зависит от типа и конструкции фильтра и должна обеспечивать расположение в ее пределах сальника 5 и замка 3. Кроме того, высота надфильтрового участка должна быть достаточной для того, чтобы его верх находился выше башмака обсадной трубы не менее чем на 3 м при глубине скважины до 30 м и не менее чем на 5 м при большей глубине.

В конструкции фильтра бурового колодца выделяются два элемента: опорный каркас и водоприемная поверхность. Опорный каркас устраивается из труб с круглой или щелевой перфорацией (трубчатые каркасы — рис. IV.43) или из отдельных стержней, между которыми оставляются продольные отверстия — щели (стержневые каркасы или, как их называют, каркасно-стержневые фильтры — рис. IV.44).

В скальных и полускальных трещиноватых породах, а также в крупносkeletalных щебенистых и галечниковых водоносных грунтах нередко ограничиваются установкой трубчатого или стержневого каркасов без дополнительных устройств; в этом случае указанные каркасы служат одновременно и водоприемными поверхностями.

В гравийно-песчаных и песчаных грунтах на каркасы наматывается проволока (проволочные фильтры) или накладывается сетка (сетчатые фильтры) или же накладываются стальные штампованные листы с отверстиями различной конфигурации.

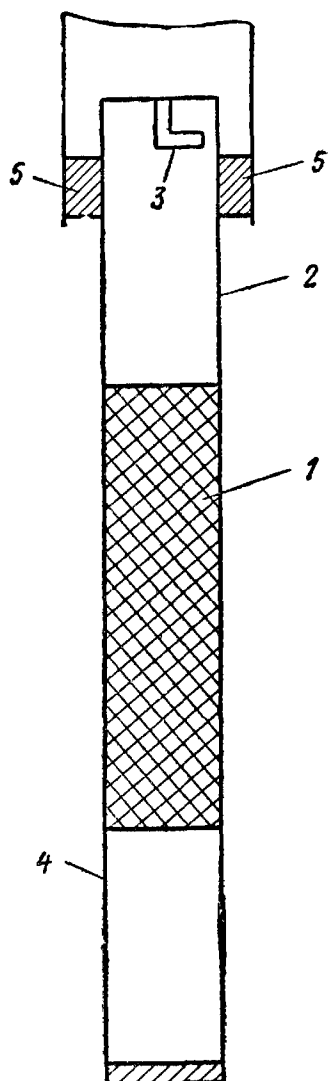


Рис. IV.42

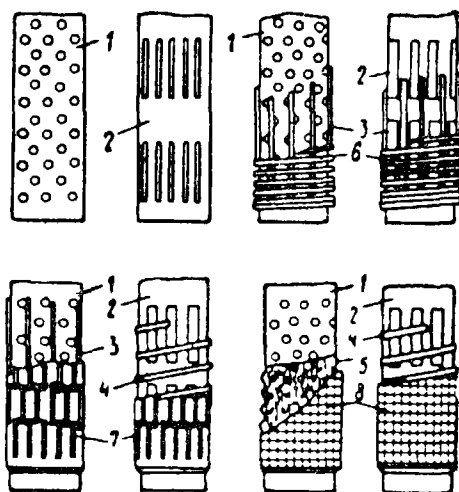


Рис. IV.43

1 — трубчатый каркас с круглой перфорацией; 2 — трубчатый каркас с щелевой перфорацией; 3 — подкладочные продольные стержни; 4 — подкладочная спиральная намотка; 5 — подкладочная гофрированная пленка из винипласта; 6 — водоприемная поверхность из проволочной обмотки; 7 — водоприемная поверхность из стального штампованного листа с отверстиями различной конфигурации; 8 — водоприемная поверхность из сетки

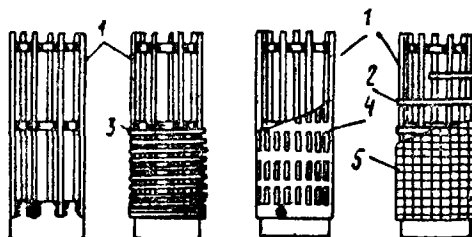


Рис. IV.44

1 — стержневой каркас (на опорных кольцах или закладных планках); 2 — подкладочная спиральная намотка; 3 — водоприемная поверхность из проволочной обмотки, 4 — водоприемная поверхность из стального штампованного листа с отверстиями различной конфигурации; 5 — водоприемная поверхность из сетки

В среднезернистых и мелкозернистых грунтах вокруг водоприемных поверхностей указанных типов устраивают гравийные обсыпки (гравийные фильтры). При этом различают гравийные засыпные фильтры, когда засыпка гравия производится в скважину после установки фильтра; гравийные кожуховые фильтры, когда гравийная обсыпка устраивается в кожухах из сеток или штампованной кровельной стали еще на поверхности, а затем вместе с фильтром опускается в скважину, и, наконец, гравийные блочные фильтры, когда материал обсыпки связывается цементирующим веществом и формируется в блоки, надеваемые на фильтровые каркасы до установки их в скважину. Гравийные обсыпки устраивают одно-, двух- и трехслойными.

При устройстве проволочных фильтров на трубчатых каркасах с круглыми или щелевыми отверстиями к каркасам через 3—4 см по их периметру привариваются продольные стержни из проволоки диамет-

ром до 2,5 мм, на которые уже наматывается проволока. На стержневые каркасы проволока наматывается непосредственно.

В сетчатых фильтрах на трубчатые и стержневые каркасы спирально (с расстоянием между витками 5—10 мм) наматывается проволока, на которую накладывается сетка.

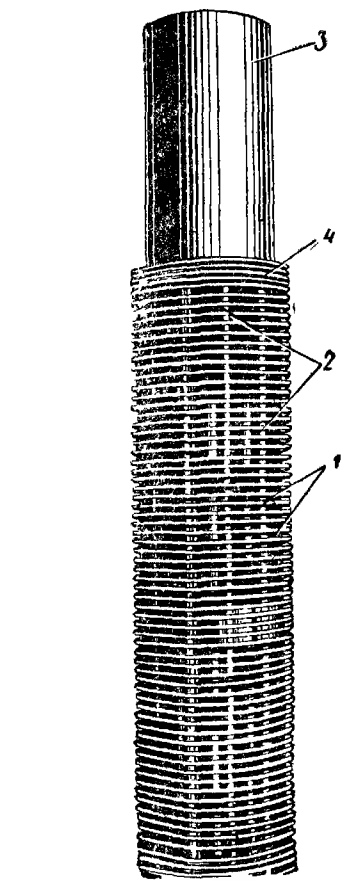


Рис. IV.45

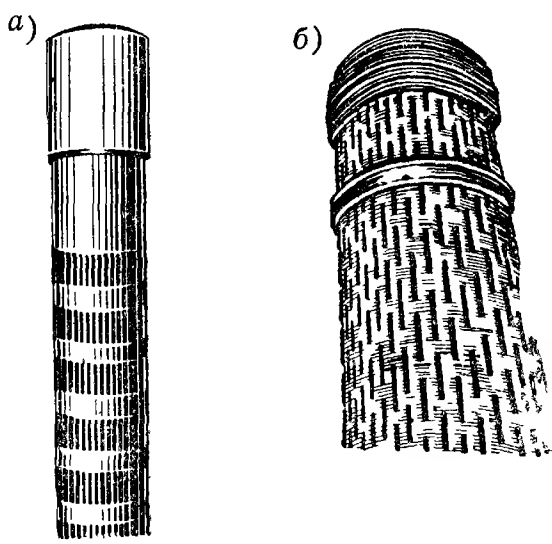


Рис. IV.46

Таблица IV.1

Фильтр	Рекомендуемый размер отверстий фильтра при коэффициенте неоднородности грунта K_{Π}	
	>2	≤ 2
Дырчатый	$(3-4)d_{50}$	$(2,5-3) d_{50}$
Щелевой, проволочный, сетчатый	$(2-2,5) d_{50}$	$(1,5-2) d_{50}$

Сетки изготавливаются из латунной проволоки и имеют различное плетение.

К недостаткам сетчатых фильтров относятся возможность закупорки отверстий сетки мелким песком и зарастание отверстий фильтра в результате процесса электрокоррозии, обусловливаемой совместным применением двух металлов (сталь и латунь).

В последние годы вместо латунных сеток начинают использовать пластмассовые сетки и сетки из нержавеющей стали.

Фильтры на стержневых каркасах обладают лучшими гидравлическими свойствами и обеспечивают более длительную эксплуатацию колодца.

На рис. IV.45 показан каркасно-стержневой фильтр с проволочной обмоткой 1. Каркас выполнен из стержней 2, расположенных на расстоянии 3—4 см один от другого и приваренных к соединительным концевым патрубкам 3 (длиной около 30 см). Для придания фильтру жесткости стержни раскреплены опорными кольцами 4, расположенными через 20—30 см.

Значительное распространение в нашей и зарубежной практике получили фильтры из различных антикоррозийных материалов, в частности из пластмасс (рис. IV.46, а) и асбестоцемента (рис. IV.46, б).

Пластмассовые фильтры обладают следующими достоинствами: устойчивостью против коррозионного действия вод, легкостью, долговеч-

ностью, сравнительно невысокой потерей первоначальной пропускной способности в процессе эксплуатации.

Наименьший размер водоприемных отверстий фильтров без гравийных обсыпок зависит от однородности и крупности зерен песка водоносного пласта и может приниматься в соответствии с табл. IV.1.

В табл. IV.1 $K_{\Pi} = d_{60}/d_{10}$; меньшие значения относятся к более мелким пескам, а большие — к более крупным пескам;

d_{10} , d_{50} и d_{60} — размер частиц грунта, мельче которых в водоносном пласте содержится по массе соответственно 10, 50 и 60%.

Отверстия в фильтре не обязательно должны быть меньше частиц грунта водоносного пласта. После начала откачки воды около отверстий фильтра в примыкающем к нему слое песка образуются сводики из частиц грунта, препятствующие проникновению песка в колодец.

В гравийных фильтрах в качестве обсыпки могут применяться песок, гравий и песчано-гравийные смеси. Подбор материалов для гравийных обсыпок производится по соотношению $D_{50}/d_{50} = 8-12$, где D_{50} и d_{50} — размеры частиц, мельче которых в обсыпке и в водоносном грунте соответственно содержится по массе 50%.

Толщина слоев обсыпки в гравийных засыпных фильтрах обычно принимается не менее 50 мм, а в гравийных кожуховых и блочных — не менее 30 мм.

В заключение в табл. IV.2 приводятся указания относительно возможной области применения различных типов и конструкций фильтров буровых колодцев.

Таблица IV.2

Водоносные породы	Применяемые типы и конструкции фильтров
Полускальные неустойчивые породы, щебенистые и галечниковые породы с преобладающей крупностью частиц от 20 до 100 мм (более 50% по массе)	Трубчатые фильтры с круглой и щелевой перфорацией, каркасно-стержневые фильтры
Гравий, гравелистый песок с крупностью частиц от 1 до 10 мм с преобладающей крупностью частиц от 2 до 5 мм (более 50% по массе)	Трубчатые фильтры с круглой и щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки или из стального штампованного листа, каркасно-стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки или из стального штампованного листа
Пески крупные с преобладающей крупностью частиц от 1 до 2 мм (более 50% по-массе)	Трубчатые фильтры с щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки, из стального штампованного листа или из сетки квадратного плетения, каркасно-стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки, из стального штампованного листа или из сетки квадратного плетения
Пески средние с преобладающей крупностью частиц от 0,25 до 0,5 мм (более 50% по массе)	Трубчатые и каркасно-стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из сеток гладкого (галунного) плетения, трубчатые и каркасно-стержневые фильтры с однослойной гравийной обсыпкой (гравийные фильтры)
Пески мелкие с преобладающей крупностью частиц от 0,1 до 0,25 мм (более 50% по массе)	Трубчатые и каркасно-стержневые фильтры с одно-, двух- или трехслойной песчаной или песчано-гравийной обсыпкой (гравийные фильтры); гравийные блочные фильтры

В условиях установившегося движения дебит совершенного колодца в напорном водоносном пласте определяется по формуле Дюпюи:

$$Q = \frac{2\pi kmS}{\ln \frac{R}{r}} = \frac{2,73kmS}{\lg \frac{R}{r}}. \quad (\text{IV.1})$$

При выводе этой формулы принято допущение, что область питания колодца в пласте ограничивается некоторым цилиндром с радиусом R . Величина R носит название «радиуса влияния», или «радиуса действия» колодца. Предполагается, что на расстоянии R от колодца понижение уровня S равно нулю, т. е. что здесь кривая депрессии как бы сопрягается с первоначальным (не затронутым откачкой) положением напорной плоскости.

По приведенной формуле может быть определен дебит Q при заранее заданном понижении уровня воды S в точке с координатой r (т. е. на расстоянии r от оси колодца). Решая эту формулу относительно S , можно определить понижение уровня при заданном дебите Q :

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R}{r} = 0,37 \frac{Q}{km} \lg \frac{R}{r}. \quad (\text{IV.2})$$

При $r=r_0$ (r_0 — радиус колодца) получим максимальную величину понижения уровня в самом колодце: $S=S_0$.

Величины k , m и R в обеих формулах определяются по данным гидрогеологических изысканий, которые производятся для обоснования проекта водосборных сооружений.

Наиболее сложно определение радиуса влияния R . Его ориентировочные значения приведены в табл. IV.3. Ими пользуются для предварительных расчетов Q и S при откачке из одиночных скважин.

Следует сказать, что само понятие радиуса влияния несколько условно. Величина радиуса влияния зависит не только от фильтрационных свойств и мощности водоносного пласта, но в значительной степени и от условий его питания. При недостаточном питании величина R постепенно увеличивается. В этом случае мы вообще не получаем стабильного дебита Q (при заданном S) или постоянной величины S (при заданном Q) — они будут изменяться во времени. Движение подземных вод к колодцу при этом является неустановившимся.

Для гидравлического расчета скважины можно принять:

$$R \approx 1,5 \sqrt{at}, \quad (\text{IV.3})$$

где t — время откачки.

Входящая в формулу величина a носит название коэффициента пьезопроводности; он характеризует скорость перераспределения напора подземных вод при неустановившемся движении:

$$a = \frac{km}{\mu^*}, \quad (\text{IV.4})$$

Таблица IV.3

Порода	Преобладающая крупность частиц в мм	Радиус влияния R в м
Песок:		
мелкий	0,1—0,25	50—100
средней крупности	0,25—0,5	100—300
крупный	0,5—1	300—400
гравелистый	1—2	400—500
Гравий:		
мелкий	2—3	400—600
средний	3—5	600—1500
крупный	5—10	1500—3000

где μ^* — коэффициент водоотдачи напорного пласта.

Коэффициент пьезопроводности a для напорных слабоминерализованных вод, заключенных в хорошо водопроницаемых плотных (скальных и полускальных) породах, обычно составляет 10^4 — 10^6 м²/сутки. В слабо-водопроницаемых мелкозернистых (рыхлых) породах он может колебаться в значительных пределах: от 10^3 до 10^5 м²/сутки. Наиболее надежно

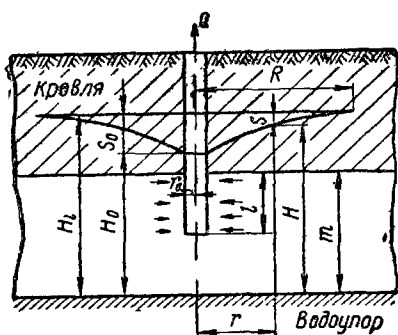


Рис. IV.48

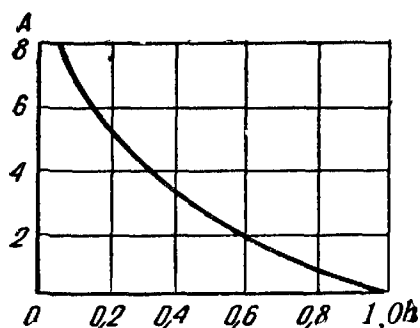


Рис. IV.49

коэффициент пьезопроводности определяется по данным опытных откачек и эксплуатации колодцев.

Несовершенный колодец в напорных водоносных пластах (рис. IV.48). При откачке воды из несовершенного колодца ее частицам приходится преодолевать более значительное сопротивление, чем в совершенном колодце. Поэтому если для получения расхода Q из совершенного колодца необходимо снизить уровень воды в колодце на величину $S_{\text{сов}}$, то для получения этого же расхода из несовершенного колодца понижение уровня должно быть равно:

$$S = S_{\text{сов}} + \Delta S, \quad (\text{IV.5})$$

где ΔS — дополнительное понижение уровня, обусловленное несовершенством колодца.

Для вычисления ΔS используется выражение, полученное на основе решения Маскета:

$$\Delta S = 0,16 \frac{Q}{km} \zeta, \quad (\text{IV.6})$$

где

$$\zeta = 2,3 \left(\frac{m}{l} - 1 \right) \lg \frac{4m}{r} - \frac{m}{2l} A, \quad (\text{IV.7})$$

Здесь m — мощность водоносного пласта;
 l — длина водоприемной части колодца (длина фильтра); в данном случае принято, что фильтр примыкает к кровле;
 A — функция, значения которой находятся по графику, приведенному на рис. IV.49, в зависимости от степени вскрытия водоносного пласта $\bar{h} = l/m$.

При весьма большой мощности водоносного пласта дебит несовершенного колодца можно определить по формуле

$$Q = \frac{2\pi k l S}{\ln \frac{1,32l}{r_0}} = 2,73 \frac{k l S}{\lg \frac{1,32l}{r_0}}. \quad (\text{IV.8})$$

Эта формула дает ошибки не более 10% при $l/m \leq 1/3$ — $1/4$ и $r_0/m \leq 5$ —8. Достоинством последней формулы является отсутствие в ней трудноопределяемой величины R .

Совершенный колодец в безнапорных водоносных пластах (рис. IV.50). При откачке воды из безнапорного водоносного пласта с его частичным осушением происходит уменьшение мощности пласта. При этом дебит Q в отличие от напорного пласта связан с понижением уровня S не линейно, а по закону параболы.

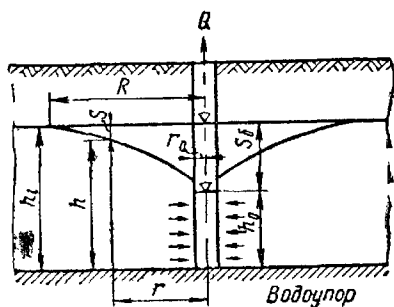


Рис. IV.50

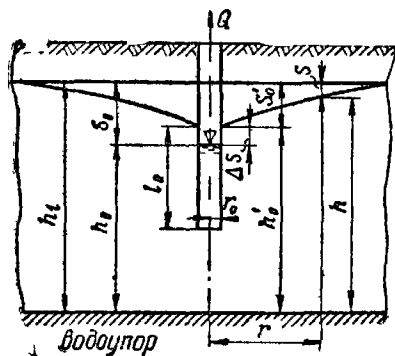


Рис. IV.51

Общий вид расчетных формул в этом случае остается прежним, но вместо понижения уровня S в них вводится разность квадратов глубин воды по соотношению:

$$S_n = \frac{h_l^2 - h_0^2}{2m} = \frac{(2h_l - S_6) S_6}{2m}, \quad (\text{IV.9})$$

где S_n — понижение уровня (S в формуле для напорных вод);
 h_l, h_0 — глубина воды в колодце в безнапорных водах соответственно до начала откачки и в процессе откачки;
 m — мощность напорного пласта;
 S_6 — понижение уровня в безнапорном пласте, равное $S_6 = h_l - h_0$.

Поставив выражение (IV.9) в формулу (IV.1), получим следующую зависимость для колодцев в безнапорных пластах:

$$Q = 1,36 \frac{k(2h_l - S_6)S_6}{\lg \frac{R}{r}}. \quad (\text{IV.10})$$

Отсюда

$$S_6 = h_l - \sqrt{h_l^2 - 0,73 \frac{Q}{k} \lg \frac{R}{r}}. \quad (\text{IV.11})$$

В условиях неустановившегося движения величина R здесь определяется в зависимости от коэффициента пьезопроводности a и времени t по формуле (IV.3). При этом коэффициент пьезопроводности в безнапорных водоносных пластах находится из соотношения

$$a = \frac{kh_{\text{ср}}}{\mu}, \quad (\text{IV.12})$$

где k — коэффициент фильтрации;
 $h_{\text{ср}}$ — средняя мощность водоносного пласта в период откачки;
 μ — коэффициент водоотдачи пласта (при его осушении).

Коэффициент пьезопроводности a в безнапорных пластах обычно колеблется от 100 до 5000 м²/сутки.

Несовершенные колодцы в безнапорных пластах (рис. IV.51), так же как это указывалось выше для напорных пластов, рассчитываются путем учета дополнительного сопротивления движению частиц воды и соответствующего дополнительного понижения уровня ΔS , определяемого в этом случае по формуле

$$\Delta S = h'_0 - \sqrt{(h'_0)^2 - 0,37 \frac{Q}{k} \xi}, \quad (\text{IV.13})$$

где

$$h'_0 = h_l - S'_0. \quad (\text{IV.14})$$

Здесь h_l — первоначальная (до начала откачки) глубина воды до водоупора;

S'_0 — понижение уровня, обусловленное откачкой из совершенно-го колодца и определяемое по формуле (IV.11);

ξ — безразмерная функция, значения которой находятся по формуле (IV.7) с помощью графика на рис. IV.49.

При этом для безнапорных пластов принимается:

$$\left. \begin{aligned} m &\approx h_l - \frac{S_0}{2}; \\ l &\approx l_0 - \frac{S_0}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{IV.15})$$

И соответственно

$$\bar{h} = \frac{l}{m} = \frac{l_0 - \frac{S_0}{2}}{h_l - \frac{S_0}{2}}. \quad (\text{IV.16})$$

где l_0 — действительная длина водоприемной части колодца;

S_0 — максимальное понижение уровня при откачке.

Кривые зависимости $Q=f(S)$ и удельный дебит колодца. Для данного трубчатого колодца путем пробных откачек может быть определена зависимость его дебита Q от глубины откачки S или обратная зависимость $S=\varphi(Q)$.

Указанные зависимости суммарно учитывают сопротивление движению воды в грунте, фильтре и самом колодце.

Для напорных вод теоретически зависимость $Q=f(S)$ является линейной, т. е. дебит меняется пропорционально глубине откачки (рис. IV.52, а). В этом случае величина удельного дебита

$$q = \frac{Q_1}{S_1} = \frac{Q_2}{S_2} = \dots = \text{const.}$$

Для ориентировочных расчетов можно принимать следующие значения удельных дебитов q в м³/ч трубчатых колодцев в напорных водоносных грунтах:

Пески:

очень мелкие	• • • • •	≤ 0,5
мелкие	• • • • •	2—4
средней крупности	• • • • •	4—8
крупные с примесью гравия	• • • • •	10—12

При откачке безнапорных вод зависимость $Q=f(S)$ имеет криволинейный характер (рис. IV.52, б), поскольку, как уже отмечалось, при увеличении S уменьшается толщина слоя грунтового потока, питающего колодец. В этом случае величина удельного дебита будет уменьшаться пропорционально увеличению S .

Практически в результате значительных гидравлических сопротивлений, возникающих в колодцах при откачке, кривые зависимости $Q=f(S)$ как в напорных, так и в безнапорных пластах почти всегда в той или иной мере отклоняются от своих теоретических положений, поэтому для аналитического их выражения применяют эмпирические формулы. В частности, широко пользуются формулой вида

$$S = \alpha Q + \beta Q^2, \quad (\text{IV.17})$$

где коэффициенты α и β находятся по опытным данным.

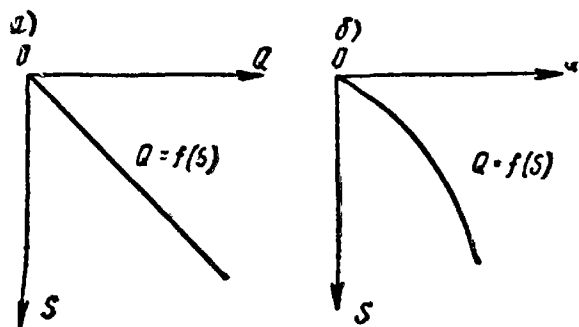


Рис. IV 52

Например, имея замеры понижений уровня S_1 и S_2 соответственно при дебитах Q_1 и Q_2 можно составить по формуле (IV.17) два уравнения и, решая их совместно, определить α и β . При наличии нескольких (больше трех — пяти) замеров (S и Q) коэффициенты α и β определяют графоаналитическим путем. Для этого формулу (IV.17) приводят к линейному виду путем деления левой и правой ее частей на Q :

$$\frac{S}{Q} = \alpha + \beta Q. \quad (\text{IV.18})$$

График в координатах $(S/Q) — Q$ дает прямую линию с начальной ординатой α и угловым коэффициентом β . Если опытные точки ложатся на данную прямую, можно считать, что зависимость дебита и уровня (IV.17) удовлетворяется.

Нередко лучшие результаты получаются при использовании степенной зависимости между S и Q :

$$S = pQ^m, \quad (\text{IV.19})$$

где p и m — коэффициенты, определяемые, как и в предыдущем случае, по опытным данным. Для их вычисления можно также применить линейное преобразование уравнения (IV.19). Так, если прологарифмировать правую и левую его части, то получим:

$$\lg S = \lg p + m \lg Q. \quad (\text{IV.20})$$

График в координатах $\lg S — \lg Q$ выразится прямой линией с начальной ординатой $\lg p$ и угловым коэффициентом m . Зависимость (IV.19) можно считать справедливой, если опытные точки ложатся на эту прямую.

По уравнениям (IV.17) и (IV.19) можно производить расчет дебита данного колодца, задаваясь более значительными понижениями уровня, чем при опытных откачках, или расчет понижения уровня при больших величинах дебита. Но при этом должно учитываться взаимное влияние всех колодцев водосбора.

§ 70. РАСЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ

При отборе воды из водоносного пласта несколькими буровыми колодцами они могут оказаться взаимодействующими, т. е. при откачке воды из таких колодцев дебит каждого из них будет изменяться (снижаться) по сравнению с их дебитом при независимой работе (при тех же понижениях уровня воды). Если же колодцы эксплуатируются при практически постоянных дебитах (например, в случае, когда колодцы оборудованы погружными артезианскими насосами), в результате их взаимного влияния происходит дополнительное понижение уровня воды как в них самих, так и в удаленных от них точках водоносного пласта.

Степень взаимного влияния колодцев будет зависеть от расстояния между ними, мощности, водообильности и условий питания водоносного пласта, а также от характера водоносных грунтов. Кроме того,

наличие и степень взаимодействия будут зависеть от количества отбираемой воды. Одни и те же колодцы могут не взаимодействовать при малых откачках (и, следовательно, малых понижениях уровня) и начать взаимодействовать при больших откачках (и, больших понижениях).

Для учета степени взаимного влияния колодцев можно вводить коэффициент влияния $\beta = Q'/Q$ или коэффициент снижения дебита $\alpha = (Q - Q')/Q$, где Q — дебит колодца при отсутствии взаимодействия; Q' — дебит колодца при наличии взаимодействия (при том же понижении уровня воды в колодце). Очевидно, что $\alpha + \beta = 1$, а так как $Q' = \beta Q$, то можно записать $Q' = (1 - \alpha)Q$.

Формулы для расчета взаимодействующих колодцев могут быть получены из приведенных выше формул для одиночных колодцев, если воспользоваться методом наложения (суперпозиции) фильтрационных течений. В соответствии с этим методом при определении понижения уровня в каком-либо из взаимодействующих колодцев последовательно находят понижения в нем, обусловленные откачкой из каждого колодца в отдельности (независимо от остальных взаимодействующих колодцев, т. е. так, как если бы каждый колодец эксплуатировался самостоятельно). Эти понижения складываются, и таким путем вычисляется суммарное понижение

$$S_{\text{сум}} = S_{0-v} + S_{1-v} + S_{2-v} + \dots + S_{n-v}, \quad (\text{IV.21})$$

где S_{1-v} , S_{2-v} , ..., S_{n-v} — понижение уровня в колодце, имеющем номер v , под влиянием откачек из колодцев № 1, 2, ..., n (здесь n — общее число взаимодействующих колодцев).

Для определения значений S_{1-v} , S_{2-v} , ..., S_{n-v} используются формулы для одиночных колодцев.

В соответствии с данной выше формулой (IV.2) для группы любым образом расположенных колодцев получим

$$S_{\text{сум}} = \frac{0,37}{km} \sum_{i=0}^n Q_i \lg \frac{R}{r_i}.$$

Так, например, для группы четырех взаимодействующих колодцев (рис. IV.53) суммарная величина понижения уровня воды в колодце № 1 будет

$$S_{\text{сум1}} = \frac{0,37}{km} \left(Q_1 \lg \frac{R}{r_0} + Q_2 \lg \frac{R}{r_{2-1}} + Q_3 \lg \frac{R}{r_{3-1}} + Q_4 \lg \frac{R}{r_{4-1}} \right). \quad (\text{IV.22})$$

Здесь Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 — дебиты взаимодействующих скважин;

R — условный радиус влияния, точнее радиус дальности действия каждого из системы взаимодействующих колодцев, определяемый по опытным данным для условий установившегося движения или по формуле (IV.3) для неустановившегося движения;

r_0 — радиус скважины № 1;

r_{2-1} , r_{3-1} , r_{4-1} — расстояния от скважины № 1, в которой определяется величина $S_{\text{сум1}}$, до остальных скважин.

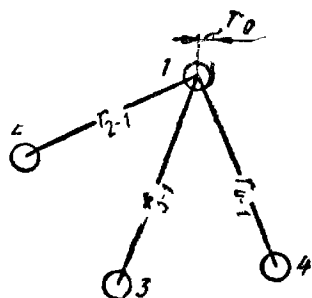


Рис. IV.53

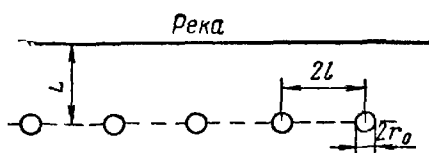


Рис. IV.54

Для расчета линейного ряда колодцев у реки можно использовать следующую приближенную формулу (рис. IV.54):

$$S = \frac{Q}{2km} \left(\frac{L}{l} + 0,73 \lg \frac{l}{\pi r_0} \right), \quad (\text{IV.23})$$

где L — расстояние от ряда колодцев до русла реки;

l — половина расстояния между скважинами в ряду (полное расстояние между ними равно $2l$).

Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Формулы (IV.22) и (IV.23) даны для напорных пластов. Но, пользуясь выражением (IV.9), можно привести их к виду, пригодному для расчета буровых колодцев в безнапорных пластах.

Если взаимодействующие колодцы являются несовершенными, к понижению уровня S , определенному по указанным формулам, добавляется дополнительное понижение ΔS , вычисленное по формулам (IV.6) и (IV.13) соответственно для напорного и безнапорного пласта.

Изложенные сведения о взаимодействии колодцев позволяют решить вопрос и о назначении расстояний между ними. Чем дальше друг от друга располагаются колодцы, тем меньше будет сказываться их взаимодействие на снижении дебита, но одновременно будет увеличиваться стоимость коммуникаций. Поэтому в ряде случаев по экономическим соображениям целесообразно идти на сокращение расстояний между колодцами, допуская некоторое снижение дебита. Этот вопрос может быть решен в каждом отдельном случае в результате технико-экономических расчетов с учетом строительных и эксплуатационных затрат, а также местных условий.

§ 71. СХЕМЫ ВОДОСБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ. ОБОРУДОВАНИЕ КОЛОДЦЕВ

Схемы водосборных сооружений с использованием трубчатых колодцев зависят как от масштабов водопотребления и мощности водоносных пластов, так и от методов получения воды из колодцев. При относительно малых количествах забираемой воды и наличии водообильных водоносных пластов можно обойтись одиночными колодцами. Но в большинстве случаев при устройстве централизованных систем водоснабжения городов и промышленных предприятий приходится использовать несколько одновременно работающих колодцев. Иногда эти колодцы рассредоточены по территории снабжаемого водой района, иногда сконцентрированы в одном месте, наиболее благоприятном для захвата подземных вод. Методы получения воды из трубчатых колодцев

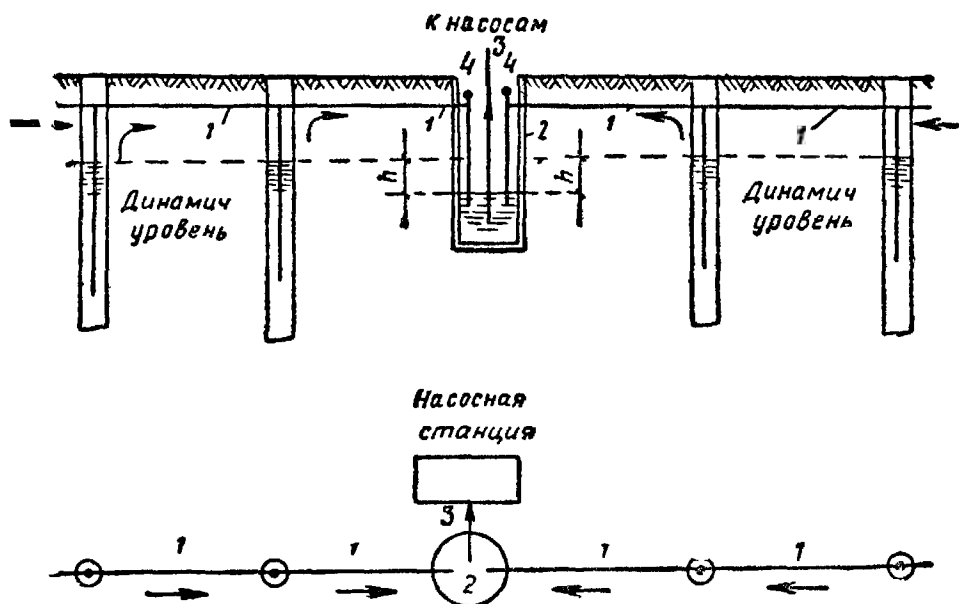


Рис. IV.55

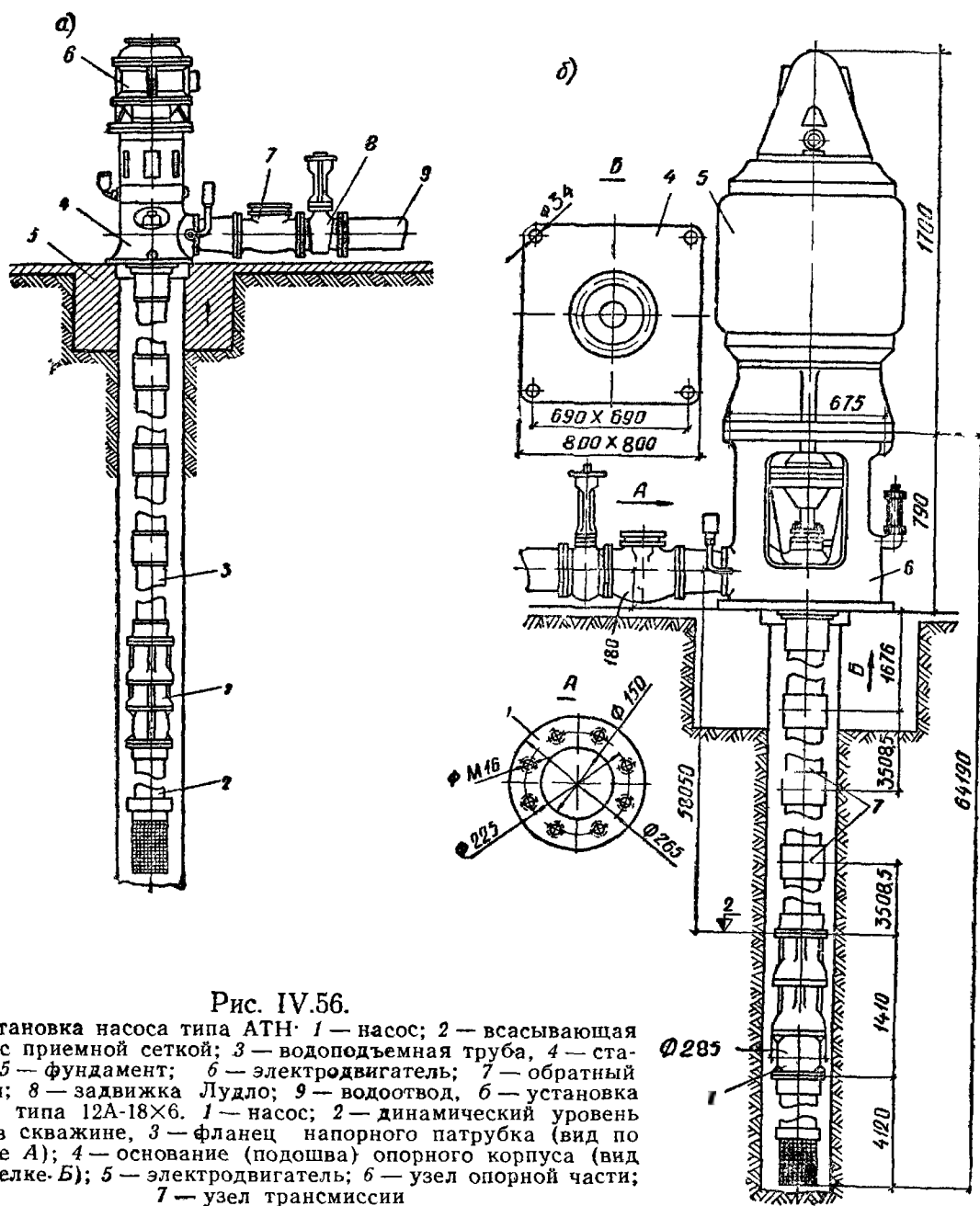


Рис. IV.56.

а — установка насоса типа АТН: 1 — насос; 2 — всасывающая труба с приемной сеткой; 3 — водоподъемная труба, 4 — станнина; 5 — фундамент; 6 — электродвигатель; 7 — обратный клапан; 8 — задвижка Лудло; 9 — водоотвод, **б** — установка насоса типа 12А-18х6. 1 — насос; 2 — динамический уровень воды в скважине, 3 — фланец напорного патрубка (вид по стрелке А); 4 — основание (подошва) опорного корпуса (вид по стрелке Б); 5 — электродвигатель; 6 — узел опорной части; 7 — узел трансмиссии

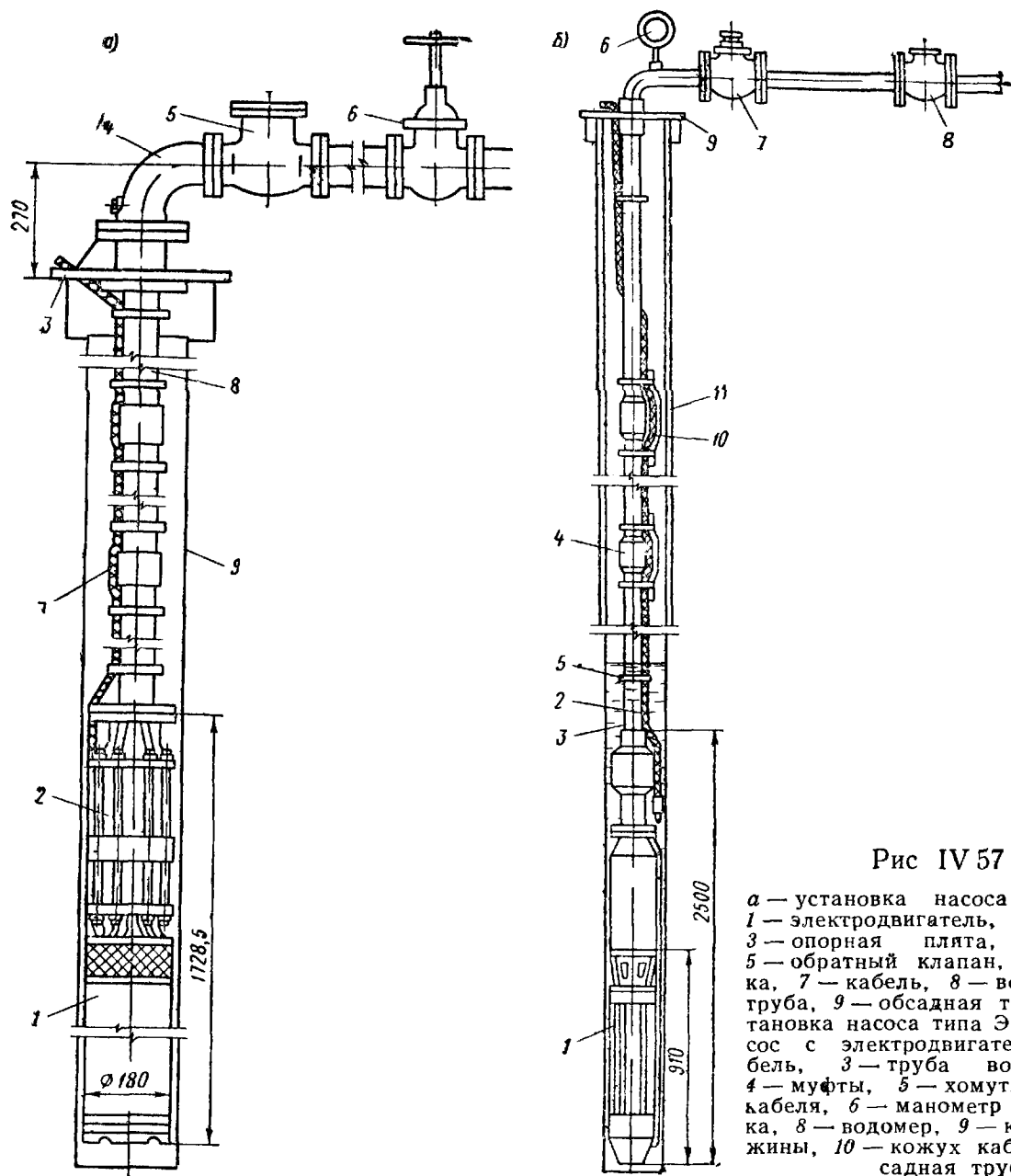


Рис IV 57

а — установка насоса типа 8АП:
 1 — электродвигатель, 2 — насос;
 3 — опорная плита, 4 — колено,
 5 — обратный клапан, 6 — задвижка,
 7 — кабель, 8 — водоподъемная
 труба, 9 — обсадная труба, 6 — установка насоса типа ЭПЛ 6
 1 — насос с электродвигателем, 2 — кабель,
 3 — труба водоподъемная;
 4 — муфты, 5 — хомуты крепления
 кабеля, 6 — манометр 7 — задвижка,
 8 — водомер, 9 — крышка скважины,
 10 — кожух кабеля, 11 — обсадная труба

зависят от глубины расположения ее уровня. Напорные (артезианские) воды после сооружения колодца могут:

- а) самоизливаться под естественным давлением в пласте;
- б) подниматься настолько близко к дневной поверхности, что их можно забирать насосами обычных типов;
- в) устанавливаться настолько глубоко, что их подъем возможен лишь при помощи специальных глубоководных насосов, гидроэлеваторов или эрлифтов.

От самоизливающихся (фонтанирующих) колодцев вода отводится самотечными трубами в сборный резервуар, из которого она перекачивается насосами.

При относительно неглубоком расположении уровня напорных вод или неглубоко залегающем безнапорном водоносном пласте целесообразно соединять трубчатые колодцы сифонными трубопроводами (рис. IV.55). При этом сифонные соединительные линии 1 могут подавать воду в сборный шахтный колодец 2, из которого она откачивается (по всасывающим трубам 3) насосами, установленными на станции первого подъема. Из верхних точек 4 сифонной магистрали производится удаление воздуха при помощи вакуум-насосов.

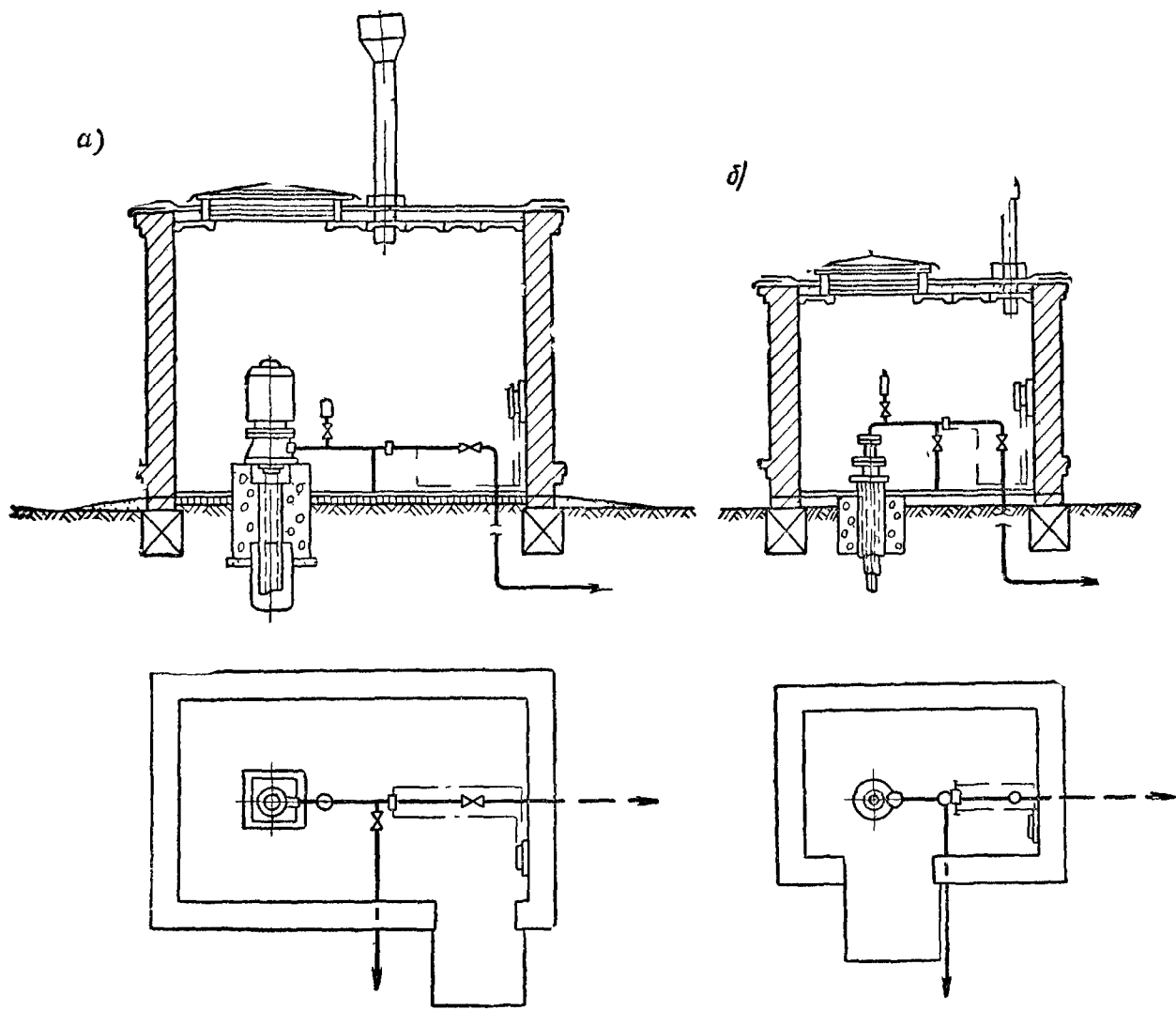


Рис. IV.58

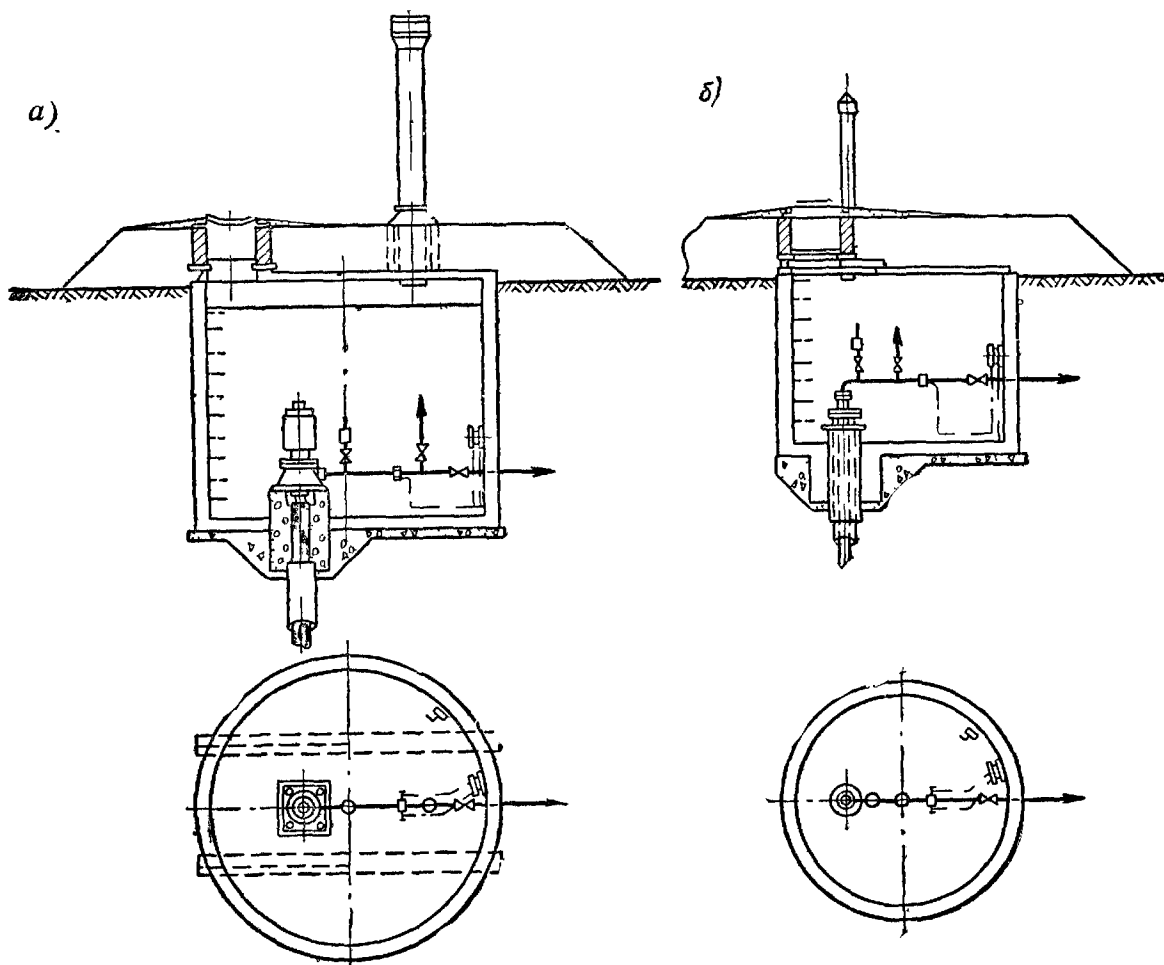
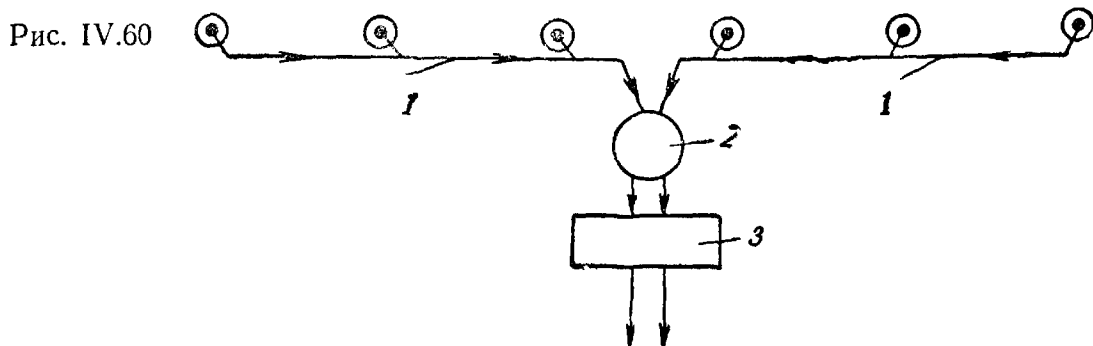


Рис. IV.59



Сифонная магистраль, забирающая воду из ряда трубчатых колодцев, может быть присоединена также непосредственно к всасывающему патрубку центробежного насоса или к вакуум-котлу. И в этом случае из сифонной магистрали должно быть обеспечено непрерывное удаление воздуха вакуум-насосом. Производительность его определяют на основании приближенных расчетов количества воздуха, который может поступать в сифонную линию как с забираемой водой, так и через неплотности соединений труб. Точный расчет количества воздуха в сифонных системах крайне затруднителен. Для приближенных расчетов обычно принимают, что 1 м^3 забираемой воды может выделить до 25 л воздуха, а через неплотности соединений может поступать количество воздуха, примерно равное 1 л/с на 1 км длины сифонной линии.

В целях обеспечения требуемого вакуума сифонные линии необходимо выполнять возможно более герметичными. Как правило, для них используют стальные трубы со сваркой их стыков.

Наибольшая высота всасывания воды из колодца, практически возможная при использовании сифонных линий, составляет 6 м , если сифонная магистраль присоединена непосредственно к насосу, и не более 7 м при использовании вакуум-котлов.

Для снижения потерь напора в сифонных линиях их диаметры обычно принимают исходя из относительно малых значений расчетной скорости движения воды — $0,6\text{--}0,7 \text{ м/с}$.

Сифонные линии укладывают с некоторым подъемом к сборному колодцу (или к насосной станции).

В тех случаях, когда динамический уровень воды залегает глубоко (на глубине более 10 м от поверхности земли), каждый колодец оборудуется специальными скважинными или, как их еще называют, артезианскими глубоководными насосами.

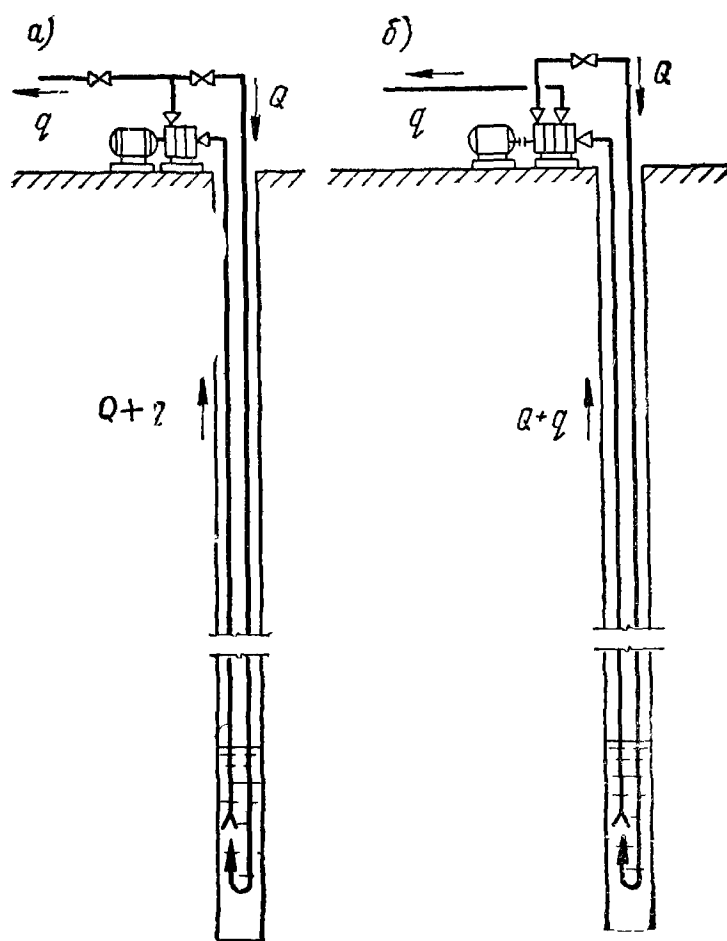


Рис. IV.61

Скважинные насосы подразделяются на два типа: 1) насосы с вертикальным трансмиссионным валом и электродвигателем, устанавливаемым на поверхности (рис. IV.56); 2) погружные насосы — с электродвигателем, размещающимся в скважине под динамическим уровнем воды (рис. IV.57).

Над устьем колодца устраивают павильоны — на поверхности земли (рис. IV.58) или ниже поверхности земли (рис. IV.59). На рис. IV.58, а и IV.59, а даны схемы таких павильонов для насосов с электродвигателем на поверхности, а на IV.58, б и IV.59, б — схемы таких павильонов для погружных насосов.

Схема расположения водосборных сооружений при оборудовании колодцев артезианскими насосами показана на рис. IV.60. Насосы подают воду по напорным трубопроводам 1 в сборный резервуар 2. Отсюда вода забирается насосами станции второго подъема 3 и нагнетается по водоводам к объекту водоснабжения.

В некоторых случаях насосы, расположенные в колодцах, подают воду непосредственно в водовод, идущий к потребителю.

Для колодцев со сравнительно небольшим дебитом (до 10—15 м³/ч) применяют водоструйные (эжекторные) водоподъемные установки. На рис. IV.61 показаны схемы подъема воды из колодцев при помощи водоструйных водоподъемных установок. Наиболее совершенной является схема, приведенная на рис. IV.61, б. В этой схеме применен так называемый двухпоточный насос. Отбор полезного расхода q с относительно небольшим напором осуществляется у промежуточной ступени этого насоса, а расход эжектирующей воды Q с полным напором, развиваемым насосом, отбирается у последней ступени насоса.

§ 72. ШАХТНЫЕ КОЛОДЦЫ

Шахтные колодцы чаще всего применяют для приема относительно неглубоко залегающих вод (обычно на глубине не более 20 м) из безнапорных водоносных пластов. В редких случаях эти колодцы используют для приема слабонапорных вод (при незначительном заглублении и незначительной мощности напорных водоносных пластов).

Обычно прием воды в шахтные колодцы осуществляется через их дно и частично стенки.

Шахтные колодцы применяют для приема небольших количеств воды при индивидуальном пользовании, а также в водоснабжении сельских местностей, во временных водопроводах и т. п.

В крупных централизованных системах водоснабжения шахтные колодцы применяют относительно редко, так как здесь более экономичным является применение трубчатых колодцев с использованием хотя и более глубоких, но зато более мощных водоносных пластов.

Шахтные колодцы бывают бетонными, железобетонными, каменными (из кирпича или бутового камня) и деревянными (срубовыми). При небольшом диаметре колодцев их можно делать сборными из железобетонных колец.

Шахтные колодцы обычно строят опускным способом. В последнее время начали применять механизированный способ рытья шахтных колодцев при помощи установленного на автомашине механизма, представляющего собой устройство для бурения и опускания железобетонных колец, образующих шахту колодца.

Принципиальная схема шахтного колодца, забирающего воду из безнапорного водоносного пласта (в основном через дно), показана на

В стенках колодца в пределах водоносного пласта для увеличения притока воды в колодец могут устраиваться отверстия. В колодцах из бутового камня или кирпича роль таких отверстий выполняют щели в кладке; в бетонных колодцах устраивают специальные отверстия в их стенках.

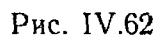
[illegible]

Рис. IV.63

$$Q = \frac{2\pi kSr}{\frac{\pi}{2} + \frac{r}{T} \left(1 + 1,18 \lg \frac{R}{4H} \right)}, \quad (\text{IV.24})$$

где k — коэффициент фильтрации;
 S — понижение уровня воды при откачке;
 $r=D/2$ — внутренний радиус колодца;
 T — расстояние от дна колодца до подстилающего водоупора;
 R — радиус влияния колодца;
 H — мощность водоносного пласта.

При увеличении мощности водоносного пласта H и расстояния от дна колодца до водоупора T второе слагаемое в знаменателе приведенной формулы стремится к нулю. Когда $R/H < 10$, этим слагаемым можно пренебречь и пользоваться формулой Форхгеймера

$$Q = 4krS. \quad (\text{IV.25})$$

Определяя по приведенным формулам дебит при допустимых для данных условий глубинах понижения, можно судить о достаточности этого дебита, а следовательно, и о правильности принятого диаметра колодца. При первых прикидках может оказаться, что для отбора требуемого количества воды понижение S не может быть получено при имеющейся мощности водоносного пласта или потребует значительного увеличения глубины колодца. В этих случаях приходится принимать больший диаметр колодца или увеличивать число колодцев.

При проектировании колодца следует иметь в виду, что слой воды в нем должен быть не менее 1—2 м.

Конструкции и оборудование шахтных колодцев весьма разнообразны.

На рис. IV.63 показано устройство сборного железобетонного шахтного колодца (из колец).

В сельских местностях широкое применение нашли деревянные срубные колодцы для индивидуального или группового пользования. Эти колодцы имеют квадратную форму в плане, размеры в пределах от 1×1 до 1,4×1,4 м и устраиваются из бревен 14—18 см, стесанных с внутренней стороны, или пластин из бревен 20—22 см. После окончания работ по установке сруба на дне колодца укладывают «донный» (обратный) фильтр в виде слоев песка и гравия, крупность которых возрастает снизу вверх.

§ 73. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ВОДОСБОРЫ

Горизонтальные водосборы применяют при малой глубине залегания водоносного пласта (до 5—8 м) и относительно небольшой его мощности. Они представляют собой дренажи разных типов или водосборные галереи (рис. IV.64), укладываемые в пределах водоносного пласта (обычно непосредственно на подстилающем водоупоре). Водосборное устройство часто располагают по линии, перпендикулярной направлению движения грунтового потока. Вода, поступившая из грунта в дренажные трубы или галереи, подается по ним в сборный колодец, откуда откачивается насосами.

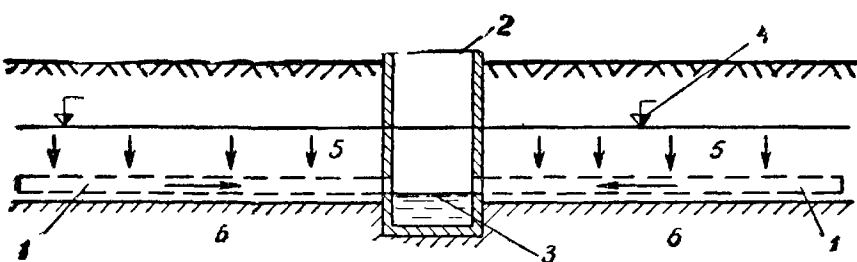


Рис. IV.64

1 — горизонтальные водосборы;
 2 — сборный колодец; 3 — уровень воды в сборном колодце;
 4 — статический уровень подземных вод; 5 — водоносный пласт;
 6 — водоупор

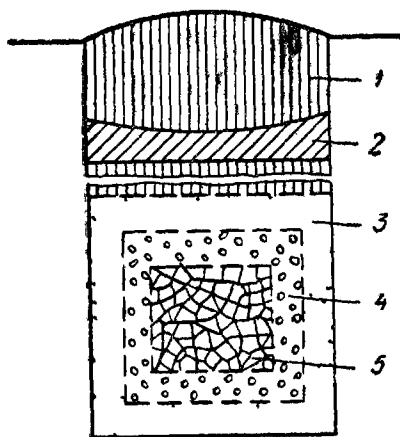


Рис IV 65

1 — местный грунт 2 — экран из водонепроницаемого грунта 3 — крупнозернистый песок, 4 — гравий 5 — выкладка из рваного камня или щебня

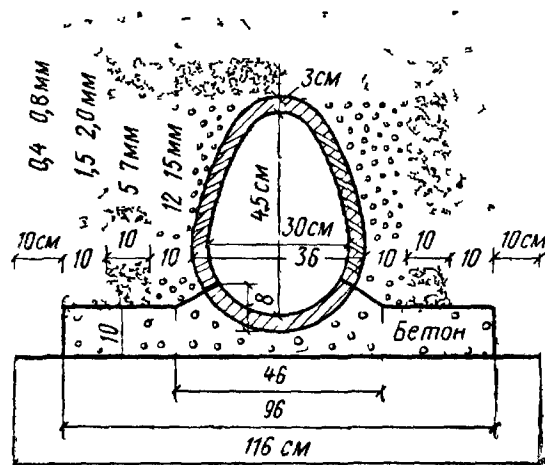
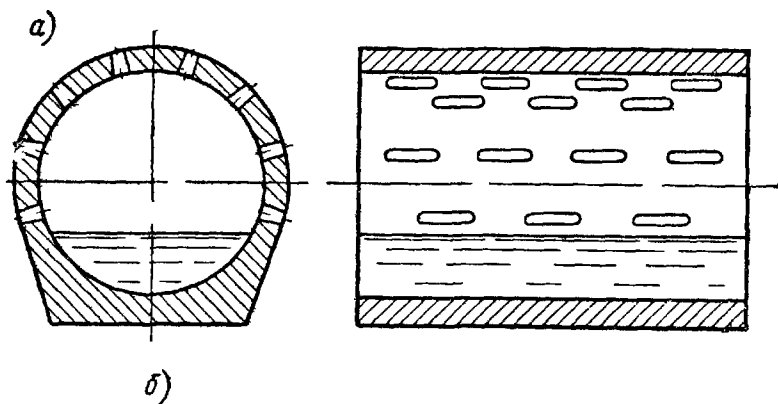


Рис IV 66

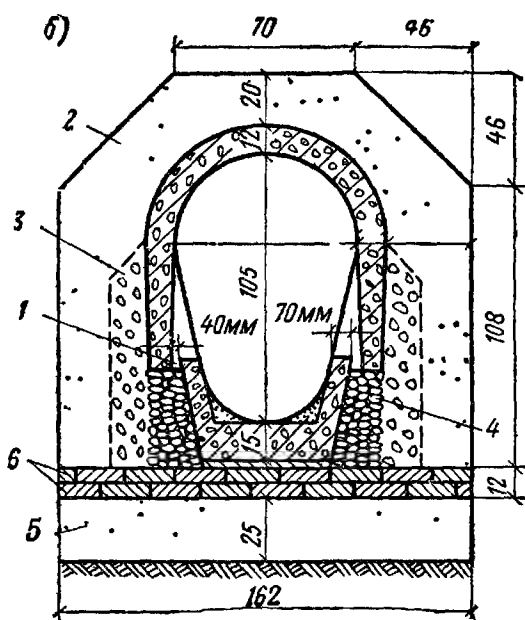
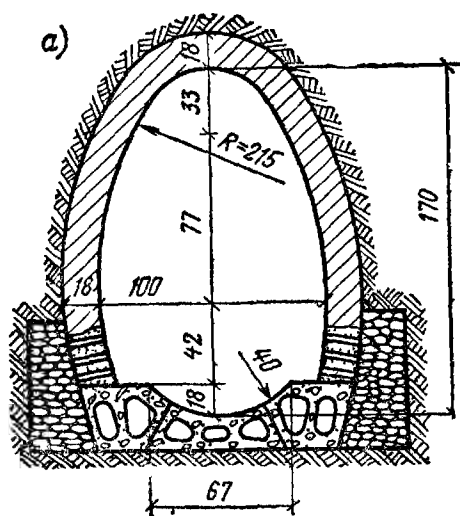


Рис IV 67

Все конструкции горизонтальных водосборов можно разделить на следующие три группы

- 1) траншейные водосборы с засыпкой камнем или щебнем;
- 2) трубчатые водосборы,
- 3) водосборные галереи

Траншейные водосборы (рис IV 65) являются наименее совершенным типом горизонтальных водосборов.

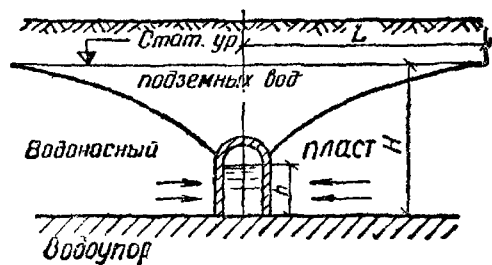


Рис. IV.68

Трубчатые водосборы представляют собой керамические, бетонные или железобетонные трубы круглого или овоидального сечения с фильтрующей гравийно-песчаной обсыпкой вокруг них. На рис. IV.66, а показана дырчатая бетонная труба трубчатого водосбора. При укладке в грунт труба обсыпается гравием и песком, образующими обратный фильтр. На рис. IV.66, б показано устройство трубчатого водосбора в очень мелких песках.

Водосбор состоит из трубы овоидального сечения, уложенной на бетонной подушке, и четырехслойной обсыпки из гравия и песка различной крупности. В трубе сделаны наклонные отверстия прямоугольного поперечного сечения размером 10×15 мм, расположенные по ее длине в шахматном порядке на расстоянии друг от друга (между центрами) 25 мм.

Устройство водосборных галерей показано на рис. IV.67. На рис. IV.67, а приведен поперечный разрез проходной железобетонной галереи овоидального сечения с отверстиями в стенках. На рис. IV.67, б показана железобетонная галерея своеобразного типа, имеющая боковые отверстия 1 для входа грунтовых вод, фильтрующихся через крупный песок 2, гравийную засыпку 3 и щебень 4. На подстилающий водонепроницаемый грунт уложены слой крупного песка 5 и два ряда досок 6, на которых располагается галерея. С боков и сверху галерея также окружена слоем крупного песка.

Количество воды, поступающей из безнапорного водоносного пласта в совершенный горизонтальный водосбор (рис. IV.68), может быть определено по уравнению Дюпюи, принимающему для одностороннего притока воды к водосборной галерее следующий вид:

$$Q = lk \frac{H^2 - h^2}{2L}. \quad (\text{IV.26})$$

- l — длина водосбора;
- k — коэффициент фильтрации;
- H — мощность водоносного пласта;
- h — высота стояния воды в водосборе;
- L — зона влияния водосбора.

При двустороннем питании галереи

$$Q = lk \frac{H^2 - h^2}{L}. \quad (\text{IV.27})$$

Определение площади поперечного сечения водосборных галерей и трубчатых водосборов по заданным притокам воды в зависимости от их продольного уклона производится методами, применяемыми при расчете самотечных линий канализации и водостоков.

Особый тип горизонтальных водосборов образуют так называемые кяризы, которые устраивались населением предгорьев Средней Азии и Закавказья в течение нескольких предыдущих столетий. Кяриз — это штольня небольшого поперечного сечения (высотой около 1 м и шириной около 0,5 м) и значительной длины.

§ 74. ВОДОСБОРЫ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ТИПА

Если русло реки сложено водопроницаемыми породами, речная вода насыщает их, образуя своеобразный грунтовый поток, медленно движущийся в том же, что и река, направлении. Этот грунтовый поток называют обычно подрусловым потоком или подрусловыми водами. Границы его (нижняя и боковые) определяются в основном характером залегания водонепроницаемых пород. Подрусловые воды движутся в галечниковых и песчано-гравелистых породах и частично питаются грунтовыми водами из водоносных пластов береговых склонов, примыкающих к пойме реки.

Для отбора воды из подруслового потока используются водоприемные сооружения инфильтрационного типа. Эти сооружения по характеру своей работы весьма близки к рассмотренным выше сооружениям для приема подземных вод, а по конструктивному оформлению часто полностью аналогичны последним. Для забора подрусловых вод могут применяться трубчатые и шахтные колодцы, горизонтальные водосборы (дрены, галереи), а также особый тип сооружения — лучевые водосборы (см. далее).

Водосборы инфильтрационного типа могут быть расположены вдоль русла реки, а горизонтальные водосборы, кроме того, и под руслом реки.

На рис. IV.69 показана схема работы водосбора, расположенного вдоль русла реки. В данном случае в качестве водоприемного сооружения использован ряд трубчатых колодцев А.

Отбор воды из насыщенного водой грунта приводит к усиленному поступлению воды из реки в грунт. Таким образом, фактически колодец не только забирает воду, насыщающую грунт, но и подсасывает речную воду, которая предварительно фильтруется через грунт. Этот характер работы отразился и на самом названии водосборов — инфильтрационные.

Поступающий из реки в грунт инфильтрат может вызвать интенсификацию процесса заиления (кольматации) поверхности ложа реки взвесью, содержащейся в речной воде. Поэтому скорости фильтрации воды из реки в грунт не должны быть значительными. Так как уровень подрусловых вод связан с уровнем воды в реке, условия работы водоприемных сооружений будут меняться при сезонных колебаниях последнего. На рисунке схематически показано расположение линии депрессии при откачке воды из колодца в период наивысшего уровня воды в реке. Характер правой ветви линии депрессии определяется условиями питания подруслового водоносного слоя грунтовыми водами.

Использование водоприемников инфильтрационного типа для получения речной воды имеет весьма большие преимущества. Во-первых, получаемая вода почти полностью освобождается от взвеси, содержа-

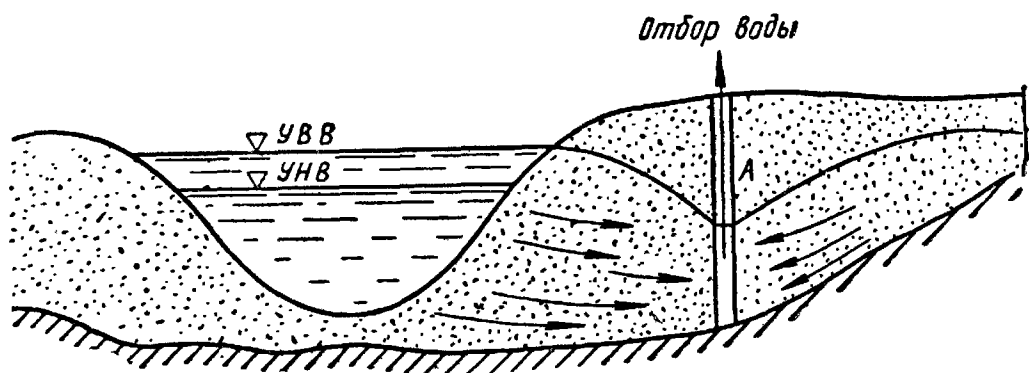


Рис. IV.69

шейся в речной воде, и цветность ее понижается; во-вторых, фильтрация воды через грунт часто значительно повышает ее санитарные качества; в-третьих, исключаются затруднения, связанные с приемом воды из шугоносных рек. Кроме того, инфильтрационные водоприемники позволяют успешно забирать воду из рек с малой глубиной, а также из рек с неустойчивым руслом.



Рис. IV.70

Следует отметить, что проектированию инфильтрационных водосборов, как и других типов сооружений для приема подземных вод, должны предшествовать тщательные гидрологические и гидрогеологические изыскания. В частности, необходимо оценить вероятность поступления в водоприемное сооружение грунтовых вод. В отдельных случаях качество их (высокая минерализация, содержание солей железа и др., наличие привкусов) делает нежелательным их захват (или ограничивает их количество в процентном отношении к речной воде).

Конструкции трубчатых колодцев, применяемых для инфильтрационных водоприемников, типы применяемых фильтров, сифонов, насосов те же, что и при приеме подземных вод.

Что касается компоновки узла сооружения, то обычно трубчатые

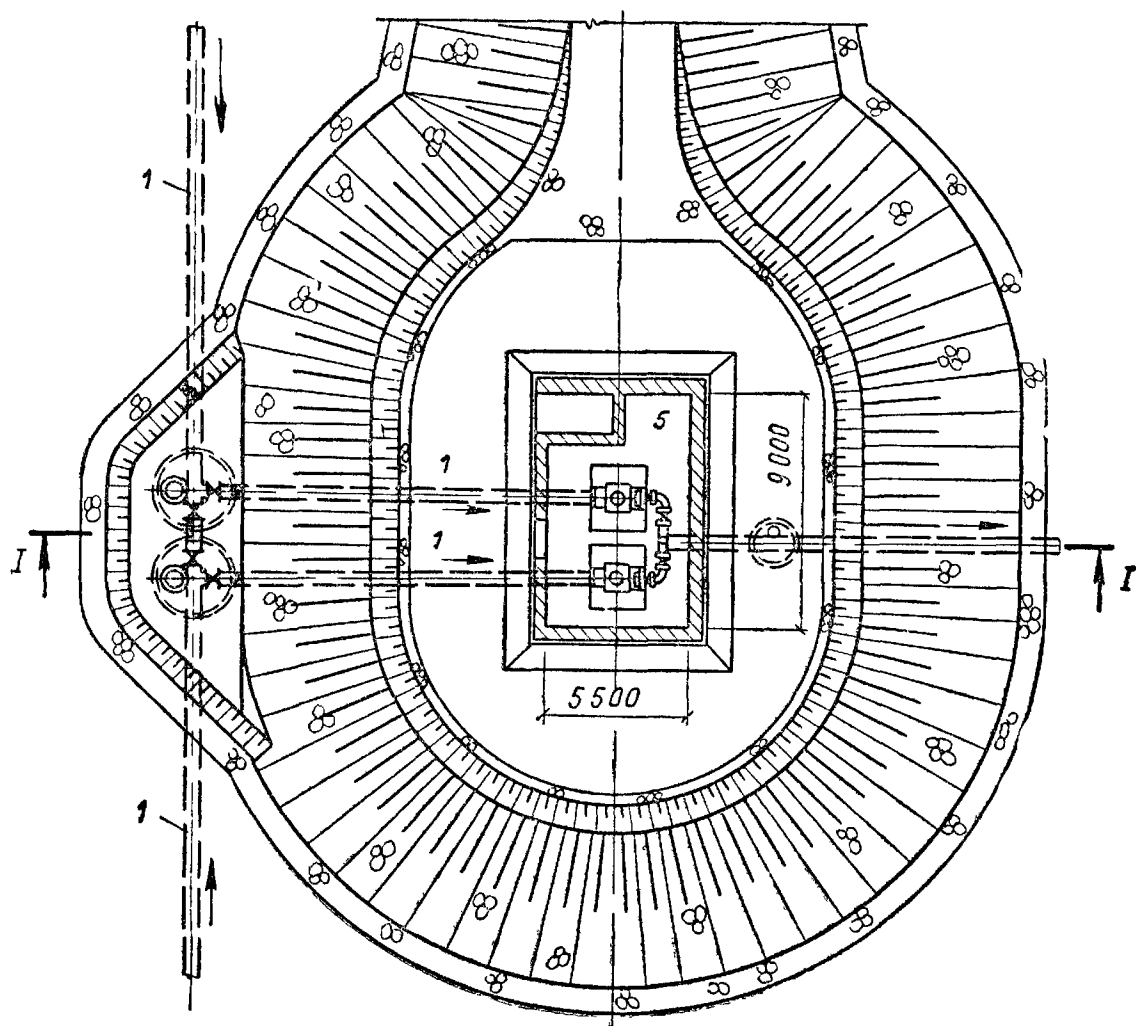


Рис. IV.71

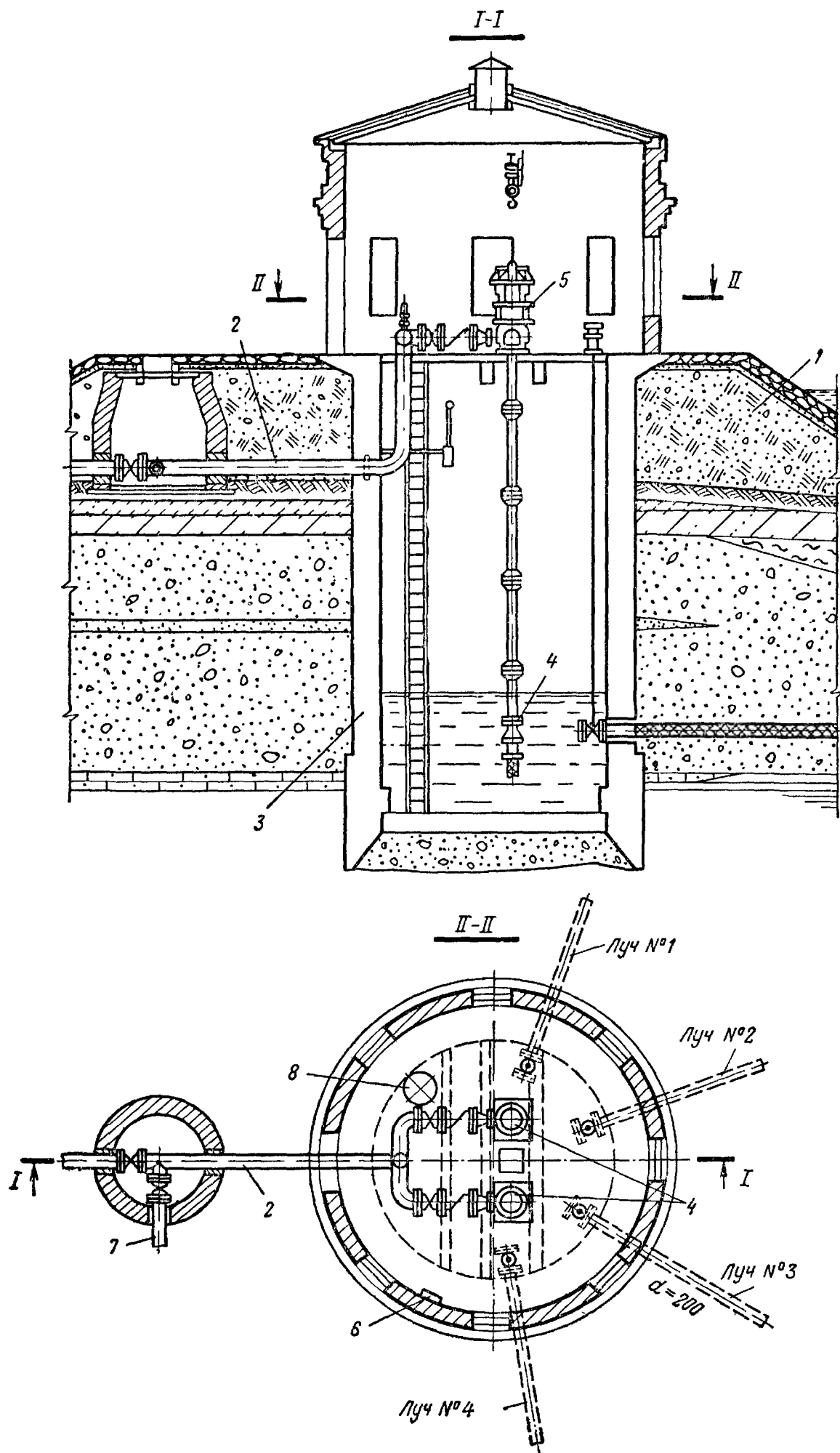


Рис. IV.72

1 — подсыпка из грунта; 2 — напорный трубопровод; 3 — железобетонный шахтный колодец; 4 — насосы; 5 — электродвигатель; 6 — дифманометр; 7 — выпуск; 8 — люк

колодцы, располагаемые вдоль русла реки, соединяются сифонными линиями, подводящими воду к насосной станции.

На рис. IV.70 показана схема водосбора инфильтрационного типа, осуществленного на реке в том месте, где она делает большую петлю. Благодаря этому скважины, расположенные вдоль русла, оказалось возможным объединить четырьмя сифонными линиями (1—4), подающими воду к почти центрально расположенной насосной станции 5. Недостаточная устойчивость русла реки привела к необходимости укрепления берегов 6, устройства бун 7 и дамб 8. Насосная станция 5 шахтного типа подает воду потребителям по напорным водоводам 9.

Горизонтальные водосборные сооружения находят применение в инфильтрационных водоприемниках как в виде водосборных галерей, так и в виде перфорированных труб (в частности, железобетонных) с устройством вокруг них обратного фильтра.

Реже применяются в инфильтрационных водоприемниках шахтные колодцы.

На рис. IV.71 показана насосная станция инфильтрационного водосбора своеобразного типа (трубчатая). Вода из скважин по сборным коллекторам 1 поступает к насосной станции, выполненной в виде двух стальных трубчатых колодцев 2 диаметром по 800 мм. В колодцах располагаются погружные насосы, подающие воду по трубам 3 в напорный водовод 4. При высоких уровнях воды сборные коллекторы 1 работают как самотечные. При низком стоянии уровней воды эти трубы, присоединенные к кольцевому пространству между трубами 2 и 3 колодца насосной станции, начинают работать как сифонные. Устья колодцев и электродвигатели насосов располагаются в наземном павильоне станции 5, построенном на насыпном полуострове в целях защиты от затопления в паводки.

Такие трубчатые насосные станции весьма просты и компактны.

Лучевой водосбор представляет собой оригинальное и эффективно работающее водоприемное сооружение, с успехом применяемое для приема подрусловых вод. Вода отбирается расположенными в пределах водоносных пород горизонтальными трубчатыми дренами, радиально присоединенными к сборному шахтному колодцу (рис. IV.72).

На рис. IV.73 показана схема лучевого водосбора в плане. Дрены могут располагаться как вдоль русла реки (в водонасыщенных грунтах), так и под самым ее руслом.

Лучевые водоприемники используются также для забора подземных вод, не имеющих питания из открытых водоемов, при условии, что водоносные пласты относительно небольшой мощности лежат на глубине не более 15—20 м.

Лучевые дренажи выполняются из перфорированных (щелевых) стальных труб и устраиваются способом продавливания (звеньями) изнутри шахтного колодца (или бурением). Некоторые методы производства работ по укладке лучевых дрен включают предварительное продавливание обсадных труб, в которые затем вводят дренажные трубы. После установки последних обсадные трубы удаляют. При других методах продавливают непосредственно дренажные трубы, снабженные параболической головкой, к которой под напором подводится вода, выходящая через щели в головке и осуществляющая размыв грунта. Пульпа удаляется по отводной трубе в шахту.

При длине лучей больше 60 м они могут устраиваться телескопическими. В водообильных водоносных пластах лучевые дренажи могут располагаться в несколько ярусов. На лучах (при входе в колодец) устанавливаются задвижки. Лучевые водоприемники позволяют наиболее

полно использовать водоносные слои даже малой мощности. Развитие техники подземных проходок облегчает их практическое осуществление.

Учитывая методы производства работ по прокладке дрен, нельзя рекомендовать устройство лучевых водоприемников в водоносных пластах из крупного галечника, или из мелкозернистых пород со значительными вкраплениями валунов, или из пород, подверженных интенсивной кольматации.

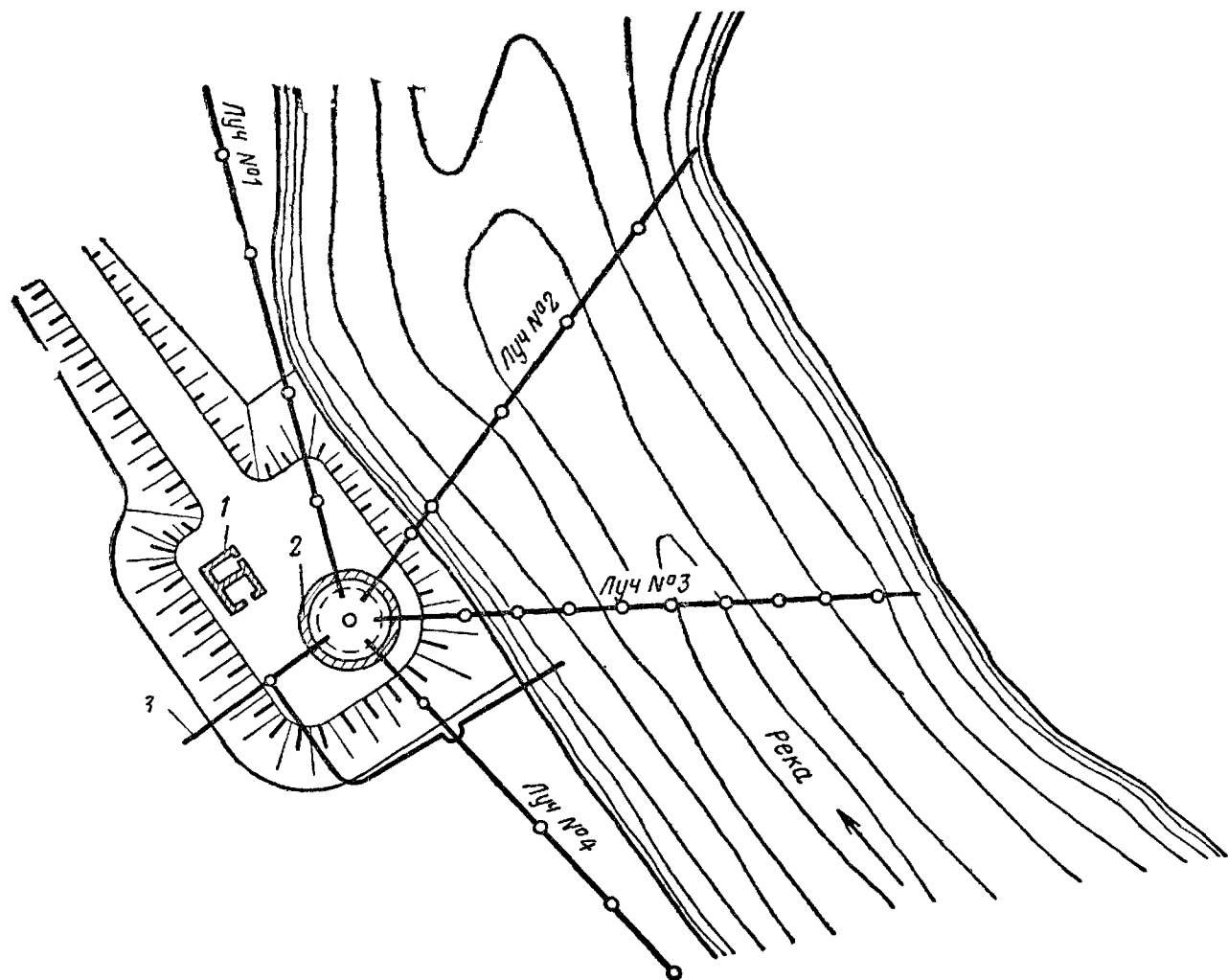


Рис. IV.73

1 — трансформаторная подстанция; 2 — шахтный колодец лучевого водосбора; 3 — напорный водовод

Для расчета применяемых в инфильтрационных водосборах горизонтальных водосборных дрен и галерей, трубчатых и шахтных колодцев используются те же методы, что и для расчета сооружений, служащих для приема обычных подземных вод. В обоих случаях названные сооружения имеют то же конструктивное оформление, те же типы и конструкции фильтров и требуют тех же методов производства работ.

Некоторую специфику имеет расчет лучевых водосборов. Кроме факторов, влияющих на поступление воды в любое сооружение для приема подземных вод, приток воды к лучам зависит от их расположения по отношению к реке (под руслом, вдоль русла, под углом к руслу). Кроме того, на количество воды, собираемое лучевой дреной, будет влиять степень заиления поверхности ложа русла реки, а также совместная работа лучей. Опыт эксплуатации лучевых водосборов дает основание полагать, что суммарное количество воды, забираемое лучами, снижается вследствие их взаимного влияния более чем на 20 %.

При проектировании лучевых дрен применяют приближенные методы расчета, используя формулы для обычных дрен и горизонтальных водосборов с введением в них различных уточняющих коэффициентов.

В практике водоснабжения встречается еще один своеобразный метод применения инфильтрационных водосборов: речная вода подается в специальные отрытые в грунте фильтрационные бассейны, насыщает грунт и отбирается от него дренами, колодцами и т. п. В некоторых случаях задача фильтрационных бассейнов несколько видоизменяется

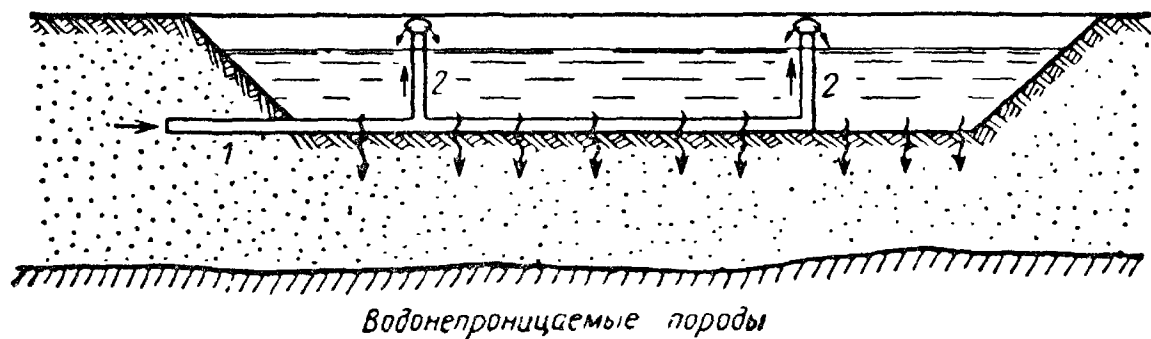


Рис. IV.74

и расширяется, и они используются для искусственного создания грунтовых вод или обогащения (подпитки) существующих, но маломощных запасов естественных подземных вод. В последние годы подобное использование поверхностных вод получило довольно широкое распространение в ряде стран.

Так, в Швеции в настоящее время из общего количества подземных вод, идущих на хозяйственно-питьевые нужды, около $\frac{1}{3}$ составляют искусственные подземные воды, получаемые путем подачи в грунт речной или озерной воды.

Наиболее часто в качестве таких инфильтрационных сооружений используются открытые неглубокие бассейны, вырытые в хорошо проницаемых грунтах. В целях снижения безвозвратных потерь подаваемой в грунт воды желательно, чтобы водоносные грунты покоились на относительно неглубоко залегающих водонепроницаемых породах. Иногда вместо бассейнов используются вертикальные инфильтрационные сооружения — поглощающие колодцы или скважины.

На рис. IV.74 приведена схема устройства фильтрационного бассейна. Поверхностная вода подается насосами по водоводу 1 и поступает в бассейн через стояки 2. Фильтруясь через дно и стенки бассейна, вода насыщает грунт (что ведет к повышению уровня грунтовых вод) и движется в сторону движения грунтового потока (в соответствии с уклоном поверхности подстилающих пород).

Забор воды из грунта, как было сказано, осуществляется водоприемными сооружениями различных типов, обычно применяемыми при использовании подземных вод.

В ряде случаев во избежание быстрого заиления дна фильтрационных бассейнов речная вода подвергается предварительному осветлению на очистных сооружениях.

§ 75. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ КАПТАЖА РОДНИКОВЫХ ВОД

Родники, или ключи, представляют собой естественный выход подземных вод на поверхность. Прозрачность, высокие санитарные качества, а также относительно простые способы получения родниковой воды

привели к широкому использованию ее для целей питьевого водоснабжения. Кроме громадного количества мелких населенных мест, использующих родниковую воду, даже ряд крупных городов имеет системы водоснабжения, основанные на питании их водой родников. Для крупных водопроводов обычно используется одновременно несколько групп мощных родников.

Родники бывают двух типов — восходящие и нисходящие. Первые образуются при проникновении в поверхностные слои грунта напорных вод в результате нарушения прочности перекрывающих их водонепроницаемых пород. Вторые образуются в результате выклинивания на поверхность земли безнапорных водоносных пластов, покоящихся на водонепроницаемых породах.

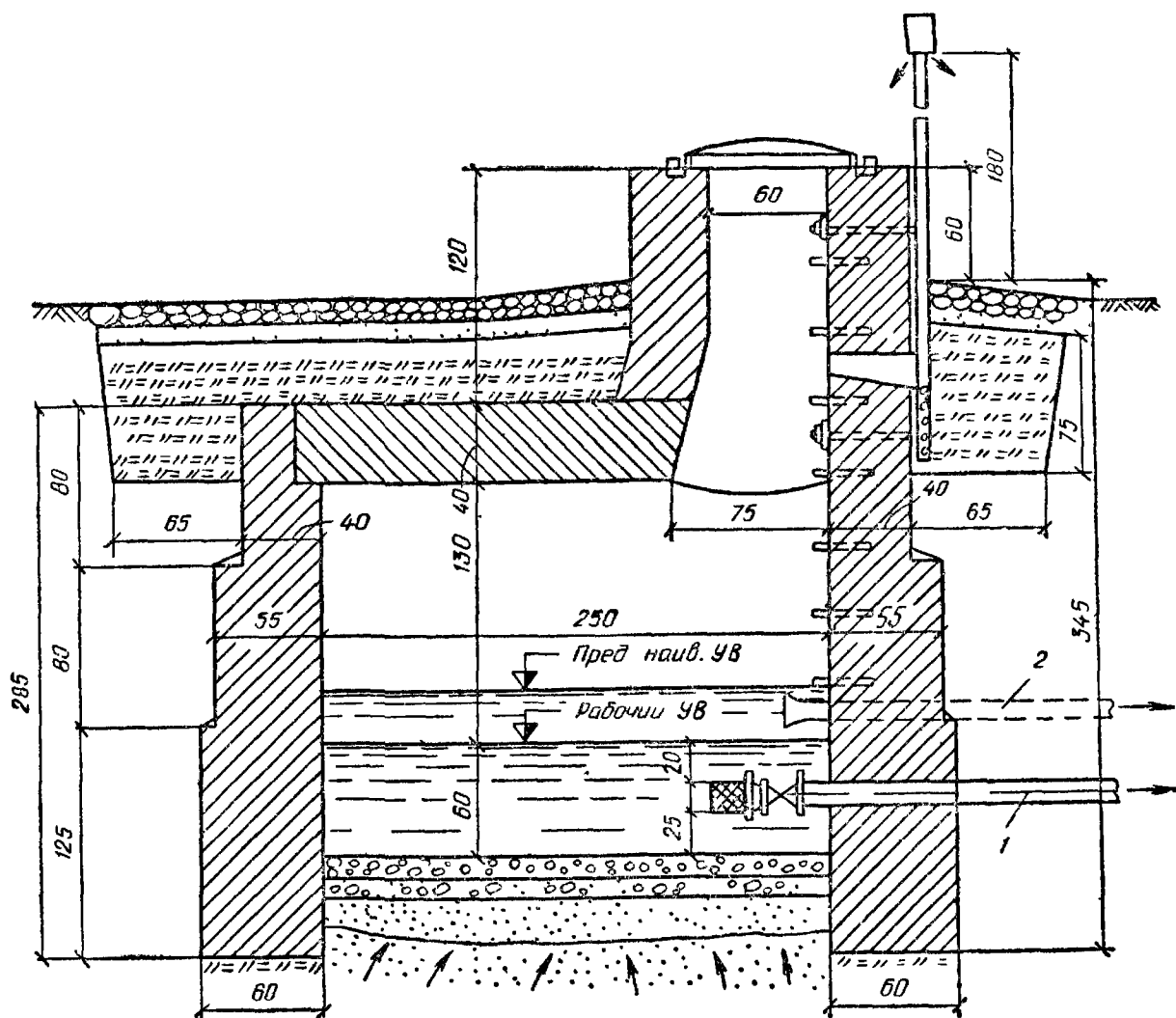


Рис. IV.75

При строительстве сооружений для приема родниковой воды необходимо обеспечить возможно более полный захват родника, расчистить места выхода воды и собрать ее в искусственный водоем, из которого она может подаваться потребителю. Сооружения для приема родниковых вод (в соответствии с характером их работы) получили название каптажных сооружений, а процесс сбора родниковой воды называют каптажем родников. Эти сооружения имеют различное устройство для двух названных типов родников.

Для каптажа восходящих родников водоприемные сооружения выполняются в виде резервуара или шахты, сооружаемой над местом наиболее интенсивного выхода родниковой воды (рис. IV.75).

Если коренные породы, через которые поступает родниковая вода, перекрыты относительно тонким слоем наносного грунта (порядка 2 м), его удаляют. Когда коренные породы представляют собой плотные тре-

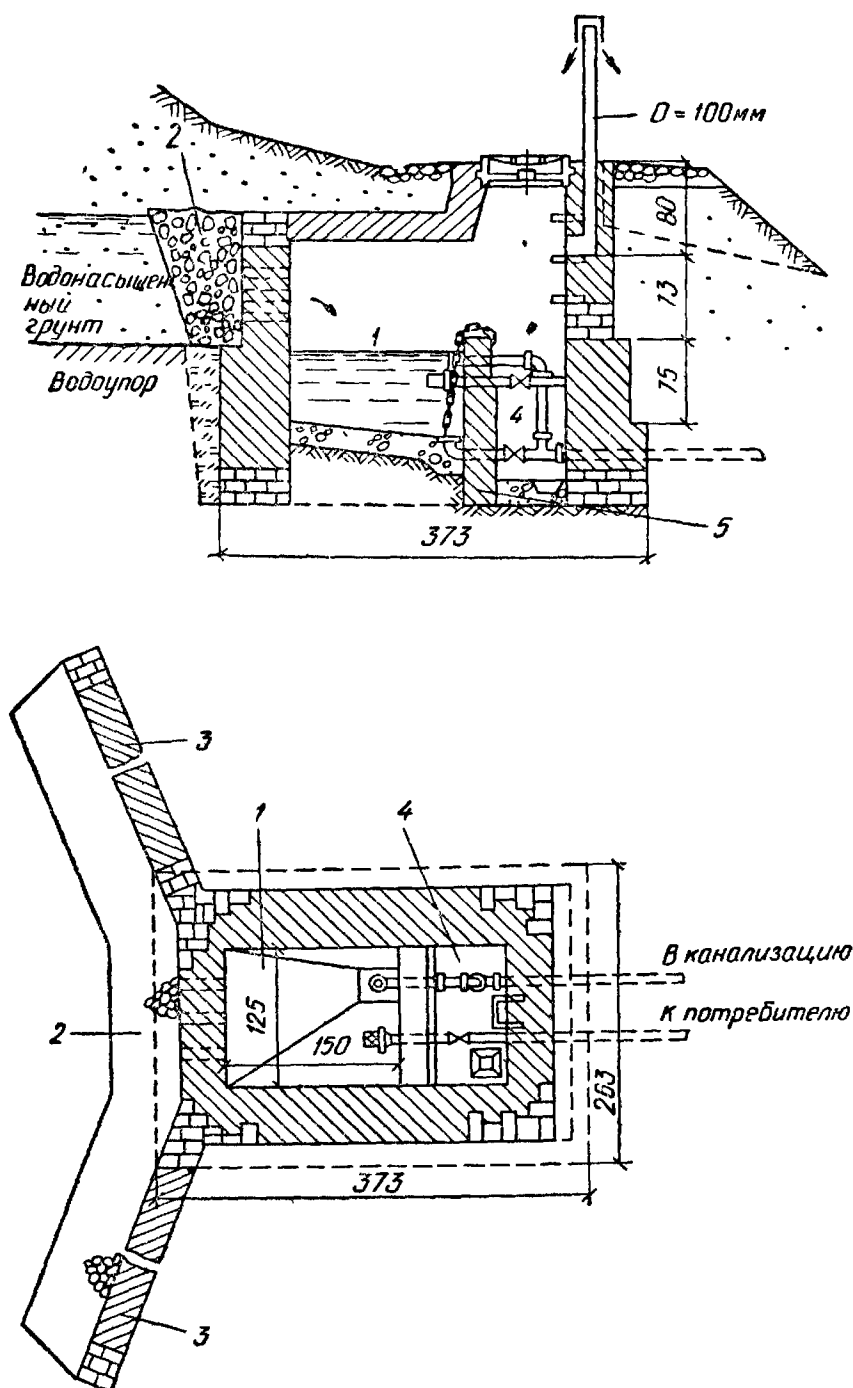


Рис. IV.76

щиноватые образования, их поверхность должна быть расчищена и, если наблюдается вынос частиц песка, засыпана слоем гравия. Если вода выходит из песчано-гравелистых пород, для каптажного сооружения обязательно устройство обратного гравийного фильтра.

Каптажное сооружение, показанное на рис. IV.75, представляет собой кирпичный резервуар с устройством на дне гравийного фильтра. Собранная вода отводится по трубе 1 (к потребителю самотеком или к насосной станции).

Во всех видах сооружений для сбора родниковой воды должна быть исключена возможность образования подпора поступающей из грунта воды. Создание искусственного подпора вызовет снижение деби-

та родника и может привести к тому, что родник вообще найдет себе другой выход на поверхность, обойдя каптажное сооружение. Для предотвращения подпора в сооружении, показанном на рис. IV.75, устроена переливная труба 2.

Каптаж нисходящих родников осуществляется путем устройства своеобразных приемных камер, располагаемых в месте наиболее интенсивного выхода родниковой воды. В ряде случаев перпендикулярно основному направлению движения родниковой воды для ее перехвата и направления к приемной камере устраиваются сооружения в виде перемычек, подпорных стен и т. п. Иногда вдоль этих перемычек укладывают горизонтальные водосборные трубы или галереи, собирающие воду и облегчающие ее транспортирование к приемной камере.

На рис. IV.76 показан пример каптажного сооружения (расположенного на склоне холма) для приема воды нисходящего родника. Вода поступает в приемную камеру 1 через отверстия в ее задней стенке, обсыпанной снаружи гравийным фильтром 2. С обеих сторон к камере подходят перегораживающие поток «барражные» стенки 3. Для подачи воды потребителю, перелива и опорожнения камеры предусмотрены трубы, оборудованные запорной арматурой, расположенной в смотровом колодце 4, отделенном от приемной камеры стенкой 5.

Типы и конструкции каптажных сооружений для сбора родниковой воды весьма разнообразны, так как местные условия — геологические, гидрогеологические и топографические — в своих сочетаниях накладывают в каждом отдельном случае некоторые индивидуальные черты на их устройство.

Глава 15

ОХРАНА ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДЫ

Охрана природных водоемов, используемых для водоснабжения, от истощения и загрязнения представляет важнейшую народнохозяйственную задачу.

Выбор природного источника для водоснабжения населенного места или промышленного предприятия осуществляется после проведения тщательных изысканий и технико-экономического обоснования. При этом естественно принимаются во внимание и количественные, и качественные характеристики источника, т. е. его гарантированный дебит и показатели основных качеств воды, важных для потребителя данного типа.

Однако в результате различных природных явлений, а также хозяйственной деятельности людей уже в процессе эксплуатации выбранного источника его характеристики могут измениться: может снизиться его дебит и ухудшиться качество воды.

Перевод на новый источник всякого объекта при уже имеющейся и работающей системе его водоснабжения обычно бывает крайне затруднителен и дорог (а иногда и практически неосуществим). Поэтому весьма важным является систематическое проведение мероприятий, которые охраняли бы источники от истощения (снижения дебита) и загрязнения.

Принятый в 1971 г. Верховным Советом СССР закон об основах водного законодательства предусматривает необходимый порядок и правила использования и охраны природных источников нашей страны.

Мероприятия по охране источников охватывают широкий круг вопросов. Некоторые из них распространяются на данный природный источник в целом и затрагивают различные области хозяйственной деятельности человека и различные природные явления, влияющие на этот источник. Некоторые же мероприятия должны осуществляться в процессе нормальной эксплуатации источника для снабжения данного объекта. Последние мероприятия предусматриваются преимущественно для систем водоснабжения населенных мест и осуществляются путем организации так называемых зон санитарной охраны.

§ 76. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИХ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

Как известно, в результате сброса неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод промышленных предприятий и городской канализации многие водоемы во многих странах настолько загрязнены, что использование их для водоснабжения становится затруднительным или вообще практически невозможным. В такое состояние приведены даже некоторые мощные реки. Сброс сточных вод является основной причиной продолжающегося загрязнения природных водоемов.

В СССР использование водоемов для сброса сточных вод допускается только при соблюдении специальных требований и условий, предусмотренных законодательством СССР и союзных республик.

Сброс производственных, бытовых, дренажных и других сточных вод в водоемы может производиться только с разрешения органов, осуществляющих охрану вод, по согласованию с государственным санитарным надзором. Качество сбрасываемых сточных вод должно отвечать установленным нормативам.

Если эти требования нарушаются, сброс сточных вод должен быть ограничен, приостановлен или запрещен органами контроля, хотя бы это вызвало прекращение работы предприятий или цехов, сбрасывающих стоки.

Право на запрещение сброса сточных вод, содержащих вредные для здоровья вещества, имеет государственный санитарный надзор.

Сброс сточных вод не должен приводить к увеличению содержания в воде водоема загрязняющих веществ сверх установленных норм.

В качестве мероприятий по предотвращению сброса в водоемы производственных стоков у нас и за рубежом все шире используются системы оборотного водоснабжения и последовательного использования воды (в пределе можно достигнуть полностью замкнутого цикла водоиспользования), применяются технологические процессы, не требующие больших количеств воды или «безводные» (например, при замене водяного охлаждения воздушным), и т. д. Начинает входить в практику доочистка бытовых стоков для повторного использования их в промышленности вместо свежей воды. Получают дальнейшее развитие методы глубокой очистки стоков для удаления из них вредных веществ, а также для задержания и утилизации веществ, сбрасываемых со сточными водами. Практикуется сброс некоторых доочищенных стоков для подпитки подземных водоносных слоев (при этом фильтрация через грунт значительно повышает степень их дополнительной очистки).

Все указанные мероприятия могут оказать значительное влияние на сохранение чистоты водоемов. Для этого необходима организация контроля за их выполнением и строгая ответственность за нарушение правил водного законодательства.

§ 77. ОБЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ПРИРОДНЫХ ВОДОЕМОВ ОТ ИСТОЩЕНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Основы водного законодательства СССР предусматривают охрану природных вод, имея в виду интересы не только водоснабжения, но также интересы рыбного хозяйства, водного транспорта, орошения, спорта, охоты, лечебные цели и т. д.

Водное законодательство предусматривает охрану водоемов и наиболее рациональное комплексное использование их различными потребителями путем взаимной увязки их интересов и потребностей, а также соответствующую организацию эксплуатации природных водоемов.

Существенным мероприятием по борьбе с истощением водоемов является регулирование и рационализация лесного хозяйства на площадях водосборных бассейнов и, в частности, запрещение (сокращение) вырубки лесов в верховьях рек и их притоков.

Большое значение имеет проведение противоэрозионных мероприятий. Кроме общеизвестных бедствий, которые эрозия почв причиняет сельскому хозяйству, она способствует значительному заилению водоемов. Особенно интенсивно в результате эрозии заиляются водохранилища. Процесс эрозии влияет и на режим стока рек. Снижение полезного грунтового стока, обусловленное эрозией, ведет к усилению паводков и снижению меженных расходов, что является весьма неблагоприятным для водопользователей.

В СССР проводятся эффективные мероприятия по борьбе с эрозией почв, осуществляются агротехнические мероприятия в системе сельского хозяйства по задержанию поверхностного стока, предусматриваются защитные лесонасаждения для закрепления склонов и т. п.

Загрязнение природных водоемов происходит не только в результате сброса сточных вод, но и в результате других видов хозяйственной деятельности людей. На водоемах, используемых для целей водоснабжения, запрещается молевой сплав леса. Серьезное загрязнение водоемов может иметь место в результате утечки нефтепродуктов, масел и т. п., перевозимых водным транспортом, или аварий нефтеналивных судов и неорганизованного сброса судами всех видов загрязнений. Поступление в водоемы вредных для здоровья людей веществ может происходить в результате смыва с полей различных удобрений и ядохимикатов. Для предотвращения отмеченных загрязнений должны применяться соответствующие охранные мероприятия.

Как указывалось, водное законодательство уделяет особое внимание первоочередному удовлетворению питьевых и бытовых потребностей населения в воде доброкачественных источников. В соответствии с этим подземные источники воды в первую очередь должны использоваться для водоснабжения населенных мест. Для производственных целей они могут быть использованы только при условии, что это не идет в ущерб хозяйственно-питьевому водопотреблению.

§ 78. ОРГАНИЗАЦИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДОПРИЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Санитарная охрана источников питьевого водоснабжения осуществляется путем организации на водосборных бассейнах зон санитарной охраны. Органами Государственного санитарного надзора утверждено «Положение о проектировании зон санитарной охраны централизованного водоснабжения и водных источников», обязательное для всех ор-

ганизаций, проектирующих и строящих системы водоснабжения, и для всех водопроводных предприятий.

Зона санитарной охраны поверхностного источника водоснабжения представляет собой специально выделенную территорию, охватывающую используемый водоем и частично бассейн его питания. На этой территории устанавливается режим, обеспечивающий надежную защиту источника водоснабжения от загрязнения и сохранение требуемых санитарных качеств воды.

Проект зоны санитарной охраны составляет неотъемлемую часть каждого проекта водоснабжения, без которой он не может быть утвержден. Проект должен содержать установление границ зоны санитарной охраны и перечень мероприятий по санитарному оздоровлению территории зоны. Составление проекта зоны санитарной охраны производится на базе тщательных изысканий на местности, позволяющих выявить источники питания используемых водоемов и возможные источники их загрязнения. Проект зоны санитарной охраны согласовывается с органами Государственного санитарного надзора и утверждается теми же организациями, которые утверждают проект системы водоснабжения.

Зона санитарной охраны включает в себя два пояса.

Первый пояс (пояс строгого режима) охватывает часть используемого водоема в месте забора воды из него и территорию расположения головных водопроводных сооружений (водоприемники, насосные и очистные станции, резервуары). Территория первого пояса изолируется от доступа посторонних лиц и по возможности окружается зелеными насаждениями. Постоянное проживание людей в первой зоне, как правило, не допускается.

Второй пояс санитарной охраны включает источник водоснабжения (водоем) и бассейн его питания, т. е. все территории и акватории, которые могут оказать влияние на качество воды источника, используемого для водоснабжения. Территория второго пояса определяется в основном соответствующими водоразделами.

Для крупных и средних рек не представляется возможным включить в зону санитарной охраны весь водосборный бассейн, и граница зоны определяется расстоянием (вверх по течению) от места водозабора, достаточным для самоочищения реки от сбрасываемых в нее загрязнений.

В пределах второго пояса зоны санитарной охраны должен быть обеспечен ряд оздоровительных мероприятий и введен ряд ограничений в хозяйственную деятельность с целью защиты источника водоснабжения от недопустимого ухудшения качества воды в нем.

При определении требуемых мероприятий должны учитываться характер используемого водоема, его способность к самоочищению, а также все существующие и возможные источники прямого и косвенного загрязнения водоема.

Проекты зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения составляются после проведения специальных изысканий на местности, имеющих целью выяснить гидрогеологические условия района — направление и скорость подземного потока, условия и районы его питания, возможные источники загрязнения подземных вод, наличие нарушений почвенных слоев и т. д.

При использовании подземных вод зона санитарной охраны также разделяется на два пояса.

Первый пояс охватывает территорию, на которой располагаются водосборные колодцы или скважины (с учетом перспективы развития водопровода) и связанные с ними насосные станции, установки для об-

работки воды и резервуары. Границы первого пояса зоны санитарной охраны устанавливаются с учетом характера рельефа местности и направления грунтового потока. Размер территории первого пояса определяют исходя из необходимости иметь для приема грунтовых вод вокруг артезианской скважины площадь порядка 0,25 га и вокруг колодцев площадь около 0,7—1 га. Территория первого пояса должна быть спланирована для возможности отвода поверхностного стока за пределы границ зоны. Так же как и для поверхностных вод, в первом поясе зоны санитарной охраны подземных вод не допускается проживание людей, нахождение посторонних лиц, содержание скота, а также употребление органических удобрений или ядохимикатов для посадок и посевов.

Второй пояс (зона ограничений) представляет собой территорию, для которой вводятся определенные ограничения ее использования с тем, чтобы предотвратить возможность загрязнения эксплуатируемого водоносного пласта. Границы второго пояса устанавливаются в зависимости от местных гидрогеологических условий и характера использования подземного потока. На территории второго пояса должны проводиться следующие предупредительные мероприятия: выявление и тампонаж старых и неработающих скважин, приведение в порядок дефектных скважин, выявление и ликвидация имеющихся поглощающих колодцев, благоустройство населенных мест, расположенных на территории зоны, с целью защиты используемого водоносного пласта от поступлений всевозможных загрязнений с поверхности. Во втором поясе зоны санитарной охраны не допускаются какие-либо работы, связанные с нарушением пород, перекрывающих сверху используемый водоносный пласт.

Проведение всех мероприятий по организации второго пояса зоны санитарной охраны, предусмотренных утвержденным проектом (как для поверхностных, так и для подземных источников), осуществляют те предприятия, учреждения или организации, которые используют данную территорию, а также те, деятельность которых вызвала санитарное неблагополучие.

Территория, на которой располагаются головные водопроводные сооружения (водоприемники, насосные станции, сооружения для очистки воды и т. п.), передается местными Советами депутатов трудящихся в ведение водопроводного предприятия. Обычно вся территория первого пояса зоны санитарной охраны находится в непосредственном ведении водопроводного предприятия, которое и обеспечивает на этой территории предусмотренный проектом санитарный режим.

Контроль за содержанием зон санитарной охраны осуществляется органами Государственного санитарного надзора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондарь Ф. И., Ереснов Н. В., Семенов С. И., Суров И. Е. Специальные водозаборные сооружения. М., Стройиздат, 1963.
- Бочеввер Ф. М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1968.
- Госстрой СССР. Указания по проектированию сооружений для забора подземных вод. (СН 325-65) М., Стройиздат, 1966.
- Образовский А. С. (ВНИИ ВОДГЕО). Гидравлика водоприемных ковшей. М., Госстройиздат, 1962.

Глава 16

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ
И ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЕЕ ОБРАБОТКИ**

Качество воды природных источников, так же как и требования, которые предъявляются к качеству воды, используемой различными потребителями, весьма разнообразны. Оценка качества воды природного источника с точки зрения требований потребителей позволяет решить вопрос о возможности его использования для данного объекта, а также установить необходимость и характер обработки воды на водопроводных очистных сооружениях.

Путем анализа воды природных источников выясняется наличие в ней различных веществ и микроорганизмов. Для получения правильной характеристики воды данного источника отбор проб и анализы должны производиться в течение достаточно длительного периода времени, чтобы можно было учесть сезонные изменения качества воды.

Физико-химические свойства воды, характер содержащихся в ней примесей, а также методика производства анализов воды детально изучаются в специальном курсе химии воды. Здесь приводится лишь краткий перечень тех качественных характеристик воды, которые непосредственно используются при изучении вопросов технологии ее очистки.

Характер и объем мероприятий по очистке воды, очевидно, должен быть выбран в результате сопоставления качественных характеристик воды данного источника с теми требованиями, которые предъявляют потребители к качеству воды. Требования к качеству воды, подаваемой для питьевых нужд населения, установлены ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая». Требования к качеству воды, используемой для различных производственных нужд, устанавливаются различными ведомственными нормами и техническими условиями.

**§ 79. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ
И СОПОСТАВЛЕНИЕ ИХ С НОРМАТИВНЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ
К КАЧЕСТВУ ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ВОДЫ**

Качество воды определяется наличием в ней различных веществ неорганического и органического происхождения, а также микроорганизмов. Примеси могут содержаться в воде в различном состоянии: а) во взвешенном — в виде отдельных частиц (грубодисперсная взвесь); б) в коллоидном; в) в растворенном.

Рассмотрим основные свойства воды природных источников, указывая попутно их значение для различных потребителей и требования к отдельным качественным характеристикам воды.

Содержание взвешенных веществ. Мутность. Количественное содержание взвешенных веществ в воде может быть определено или непосредственно — весовым способом, или косвенно — путем определения мутности (или прозрачности) воды.

Мутность воды обуславливается наличием в ней различного рода механических примесей, находящихся во взвешенном состоянии: частиц

песка, глины, илистых частиц органического происхождения и др. Мутность обычно свойственна воде поверхностных источников и главным образом рек. От характера грунта дна и берегов рек и от скорости течения воды зависит степень вымывания частиц грунта, увлекаемых водой. Чем меньше размеры частиц грунта, тем большее количество их несет река. Чем больше скорость течения, тем больших размеров частицы могут увлекаться водой. При определенной скорости течения воды частицы эти поддерживаются во взвешенном состоянии и придают воде мутность.

Мутность воды определяют специальными приборами — мутномерами.

В настоящее время для определения мутности стали применять приборы, основанные на действии фотоэлементов, — нефелометры.

Прозрачность воды измеряют в стеклянном цилиндре или стеклянной трубке с сантиметровой шкалой. При этом определяют толщину слоя воды (в см), через который еще виден нанесенный черной краской на белой пластинке условный знак в виде двух крестообразно расположенных линий толщиной 1 мм (крест) или специальный стандартный шрифт. Таким образом, прозрачность измеряется в см вод. ст.

Содержание взвешенных веществ в речной воде (а следовательно, ее мутность и прозрачность) меняется в течение года, возрастая в период дождей и доходя до максимума в период паводков. Наименьшая мутность (наибольшая прозрачность) речной воды наблюдается обычно в зимнее время, когда река покрыта льдом. В озерах и искусственных водохранилищах мутность, как правило, незначительна и обуславливается поступлением мутной воды из рек, питающих данные водоемы, а также поверхностных стоков с их берегов. В больших водоемах замутнение воды происходит в результате взмучивания осадков со дна при волнении в ветреную погоду.

Мутность некоторых рек достигает весьма значительной величины (до нескольких тысяч мг/л).

В СССР повышенной мутностью отличаются реки южных районов, в частности реки среднеазиатских республик. Реки средней и северной частей СССР и многие реки Сибири имеют значительно меньшую мутность. Водам подземных источников, как правило, свойственна большая прозрачность.

Использование мутной воды (без ее предварительного осветления) для некоторых категорий потребителей нежелательно или даже недопустимо.

Требования к качеству воды, подаваемой водопроводами для хозяйственно-питьевых нужд, регламентируются государственными стандартами. Согласно ГОСТ 2874—73, количество взвешенных веществ в воде, подаваемой для хозяйственно-питьевых целей централизованными водопроводами, не должно быть более 1,5 мг/л.

Многие производственные потребители могут использовать воду с содержанием взвешенных веществ более высоким по сравнению с допуском для питьевой воды. Однако для ряда производственных потребителей использование мутной воды нежелательно. Так, использование воды, содержащей механические примеси, для охлаждения влечет за собой в некоторых случаях быстрое засорение охлаждающей аппаратуры. Допускаемое содержание взвеси в охлаждающей воде зависит от типа этой аппаратуры.

Цветность. Желтоватый, коричневый или желто-зеленый оттенок воды природных источников объясняются главным образом присутствием в воде гумусовых веществ.

Цветность свойственна воде рек, питающихся частично болотной водой, а иногда и воде водохранилищ. Измеряется цветность в градусах по так называемой платино-кобальтовой шкале путем сравнения исследуемой воды с водой, имеющей эталонную цветность.

Цветность питьевой воды, подаваемой водопроводом, не должна превышать 20 град. В исключительных случаях, по согласованию с органами санитарного надзора, может быть допущена цветность воды до 35 град.

Использование воды со значительной цветностью на тех предприятиях, где происходит непосредственное соприкосновение воды с фабрикатами в процессе их изготовления (например, в текстильной промышленности), может вызвать ухудшение качества продукции.

Запахи и привкусы воды. Наличие запахов и привкусов у воды природных источников обуславливается присутствием в ней растворенных газов, различных минеральных солей, а также органических веществ и микроорганизмов. Запах и привкус имеют болотные и торфяные воды, а также воды, содержащие сероводород; в ряде случаев запах обуславливается присутствием в воде живых или гниющих после отмирания водорослей. Неприятный запах имеет вода после хлорирования при наличии в ней некоторых количеств остаточного хлора. Интенсивность запаха, как правило, увеличивается с повышением температуры воды.

Привкус солоноватый и даже горько-солоноватый часто имеют сильно минерализованные воды подземных источников.

Для количественной оценки запаха и привкуса воды применяют обычно условную пятибалльную шкалу. Следует, однако, отметить, что эта оценка в значительной мере субъективна, так как зависит от индивидуальной восприимчивости исследователя.

Согласно ГОСТ 2874—73, питьевая вода при температуре ее 20°С и при ее подогревании до 60°С не должна иметь запах более 2 баллов и привкус (при 20°С) более 2 баллов.

В большинстве случаев при использовании воды для производственных целей запах и вкус воды сами по себе несущественны. Однако наличие их может указывать на присутствие в воде нежелательных примесей.

Температура воды. Температура воды поверхностных источников колеблется в течение года в весьма широких пределах (для территории СССР — от близкой к нулю до 25°С, а иногда и выше). Воды подземные, в особенности артезианские, имеют почти постоянную температуру в течение года.

Для питьевых целей наиболее желательно использование воды температурой 7—12°С.

Для некоторых производственных потребителей температура воды источника имеет большое значение. Так, низкая температура весьма желательна для воды, идущей на охлаждение или на конденсацию пара, так как она позволяет уменьшить количество расходуемой воды.

Жесткость воды. Жесткость воды обуславливается содержанием в ней солей кальция и магния.

Различают карбонатную жесткость, обуславливаемую наличием в воде двууглекислых солей кальция и магния, и некарбонатную, при которой в воде содержатся другие соли Са и Mg (сульфаты, хлориды, нитраты и др.).

Суммарная жесткость воды называется общей жесткостью. Вода разных природных источников имеет весьма различную жесткость. Речная вода, за некоторыми исключениями, обладает относительно неболь-

шой жесткостью. Так, вода Волги (у г. Куйбышева) имеет жесткость 4,5—6 мг-экв/л, жесткость воды Москвы-реки колеблется в течение года от 2 до 5 мг-экв/л. Весьма малую жесткость имеет вода Невы (около 0,7 мг-экв/л). Вместе с тем вода рек, прорезающих толщу известковых и гипсовых пород, часто отличается весьма большой жесткостью. Жесткость речной воды обычно меняется в течение года, снижаясь до минимального значения в период паводков. Воды подземных источников в большинстве случаев имеют более значительную жесткость, чем поверхностные воды.

Для питья может использоваться относительно жесткая вода, так как наличие в воде солей жесткости не вредно для здоровья и обычно не ухудшает ее вкусовых качеств. Однако использование воды с большой жесткостью для хозяйственных целей вызывает ряд неудобств: образуется накипь на стенках варочных котлов и кипятильников, увеличивается расход мыла при стирке, медленно развариваются мясо и овощи и т. д. Поэтому общая жесткость воды, подаваемой водопроводами для хозяйственно-питьевых нужд, согласно ГОСТ 2874—73, не должна превышать 10 мг-экв/л.

Использование жесткой воды для производственных целей во многих случаях не может быть допущено, так как связано с рядом нежелательных последствий. Применение жесткой воды не допускается для питания паровых котлов, а также для ряда производств (для некоторых отраслей текстильной и бумажной промышленности, предприятий искусственного волокна и др.).

Значительная карбонатная жесткость не допускается для систем оборотного водоснабжения.

Содержание газов. В воде природных источников наблюдается чаще всего присутствие следующих газов: кислорода O_2 , углекислоты CO_2 и сероводорода H_2S .

Содержание кислорода и углекислоты даже в значительных количествах не ухудшает качества питьевой воды, но способствует коррозии металлических стенок труб, резервуаров, котлов. Процесс коррозии усиливается с повышением температуры воды, а также при движении ее вдоль металлических стенок (например, по трубам). При значительном содержании в воде агрессивной углекислоты коррозии подвергаются также стенки бетонных труб и резервуаров. В питательной воде паровых котлов среднего и высокого давления присутствие кислорода не допускается.

Содержание сероводорода придает воде неприятный запах и, кроме того, вызывает коррозию металлических стенок труб, баков и котлов. В связи с этим присутствие H_2S не допускается в воде, употребляемой для хозяйственно-питьевых и для большинства производственных нужд.

Содержание соединений железа. Железо довольно часто встречается в воде подземных источников, в основном в форме растворенного двухвалентного железа. Иногда железо содержится и в поверхностных водах — в форме комплексных соединений, коллоидов или тонкодисперсной взвеси.

Наличие железа в водопроводной воде может придавать ей плохой вкус, вызывает отложение осадка и зарастание водопроводных труб. При использовании такой воды для стирки белья на нем остаются пятна.

Согласно ГОСТ 2874—73, в воде, подаваемой централизованными системами хозяйственно-питьевого водоснабжения, содержание железа допускается в количестве не более 0,3 мг/л. При использовании подземных вод в исключительных случаях по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы в воде, подаваемой в водопроводную

сеть, может быть допущено содержание железа в количестве до 1 мг/л. На многих промышленных предприятиях, где вода употребляется для промывки фабриката в период его изготовления, в частности в текстильной промышленности, даже невысокое содержание железа в воде ведет к браку продукции.

Содержание азотистых соединений. Наличие азотсодержащих соединений — нитратов (NO_3^-), нитритов (NO_2^-) и аммонийных солей (NH_4^+) — в воде поверхностных источников или в подземных водах может обуславливаться загрязнением этих вод сточными водами. При этом наличие аммонийных соединений указывает на свежее загрязнение, а наличие нитритов — на относительно недавнее загрязнение. Содержание в воде нитратов может указывать на давнее (уже ликвидированное) загрязнение источника сточными водами.

Однако нитраты, обнаруженные в водах источника, могут быть и неорганического происхождения и не свидетельствовать о загрязнении источника.

По ГОСТ 2874—73 в питьевой воде допускается содержание нитратов (по N) не более 10 мг/л.

Содержание сульфатов и хлоридов. Сульфаты — соли серной кислоты. Сульфаты кальция и магния образуют соли некарбонатной жесткости; сульфат натрия, содержащийся в больших дозах, вреден для желудка.

Хлориды — соли соляной кислоты. Хлорид кальция CaCl_2 обуславливает некарбонатную жесткость воды. Хлорид натрия NaCl содержится в значительных количествах в воде морей, а также некоторых озер и подземных источников. По ГОСТ 2874—73 предельно допустимое содержание в воде сульфатов (SO_4^{2-}) — 500 мг/л и хлоридов (Cl^-) — 350 мг/л.

Содержание кремнекислоты. Кремнекислота встречается в воде как подземных, так и поверхностных источников в различной форме (от коллоидной до ионнодисперсной). Воды, содержащие кремнекислоту, не могут быть использованы для питания котлов высокого давления, так как образуют силикатную накипь на их стенках.

Содержание фтора. Согласно требованиям ГОСТ 2874—73, содержание фтора в питьевой воде должно поддерживаться в пределах 0,7—1,2 мг/л (в зависимости от климатических условий).

Содержание растворенных веществ (сухой остаток). Общее количество веществ (кроме газов), содержащихся в воде в растворенном или коллоидном состоянии, характеризуется сухим остатком, получаемым в результате выпаривания профильтрованной воды и высушивания задержанного остатка до постоянной массы. В воде источника, используемого для хозяйственно-питьевых целей, сухой остаток не должен превышать 1000 мг/л и в особых случаях 1500 мг/л.

Величина сухого остатка лимитируется также в воде, идущей для питания паровых котлов и используемой в ряде производств (синтетического каучука, искусственного волокна, киноплёнки и др.).

Активная реакция воды. Активная реакция воды характеризуется показателем концентрации в ней водородных ионов (рН). При нейтральной реакции $\text{pH}=7$; при кислой реакции $\text{pH}<7$, при щелочной реакции $\text{pH}>7$.

Согласно ГОСТ 2874—73, вода, подаваемая хозяйственно-питьевым водопроводом, должна иметь рН в пределах 6,5—9,5. Для вод большинства природных источников значение рН не выходит из указанных пределов.

Для правильной оценки качества воды, действия ее на водопроводные сооружения и выбора метода ее очистки необходимо знать значение

рН воды источника в различные периоды года. При низких значениях рН, т. е. при кислой реакции воды, сильно возрастает ее корродирующее действие по отношению к стали и бетону.

Бактериальная загрязненность воды. Общая бактериальная загрязненность воды характеризуется количеством бактерий, содержащихся в 1 мл воды. Согласно ГОСТ 2874—73, питьевая вода не должна содержать более 100 бактерий в 1 мл (при стандартном методе исследования).

Особую важность для санитарной оценки воды имеет определение наличия в ней бактерий группы кишечной палочки. Присутствие кишечной палочки свидетельствует о загрязнении воды фекальными стоками и, следовательно, о возможности попадания в нее болезнетворных бактерий, в частности бактерий брюшного тифа. Путем бактериологического анализа воды определяют число кишечных палочек в 1 л воды (так называемый коли-индекс) или тот наименьший объем воды, в котором еще обнаруживается кишечная палочка (коли-титр).

Воды некоторых поверхностных источников бывают весьма загрязнены в бактериальном отношении.

Согласно требованиям стандарта, в питьевой воде, подаваемой в сеть хозяйственно-питьевых водопроводов, может содержаться не более трех кишечных палочек в 1 л.

В большинстве производств бактериальное загрязнение воды не препятствует ее использованию для технических целей. Исключение составляют предприятия пищевой промышленности, для которых требуется вода питьевого качества.

Здесь перечислены лишь основные свойства воды природных источников. В практике использования воды водоемов для различных потребителей приходится встречаться еще с целым рядом специфических свойств воды. Например, согласно требованиям ГОСТ 2874—73, питьевая вода, подаваемая водопроводом, не должна содержать более 0,05 мг/л мышьяка, 1 мг/л меди, 5 мг/л цинка и 0,1 мг/л свинца.

Следует отметить, что данных, получаемых в результате обычных физико-химических и бактериологических анализов природной воды, еще недостаточно для проектирования очистных сооружений. По этим данным невозможно определить расчетные параметры технологического процесса очистки воды (требуемые дозы химических реагентов, скорость процесса на отдельных его этапах, продолжительность обработки воды в отдельных сооружениях и т. п.), а в ряде случаев и выбрать технологическую схему очистки. Поэтому исследуемую воду необходимо подвергать специальному технологическому анализу, который дает дополнительные данные для возможности выбора наиболее надежного и экономичного метода ее очистки и проектирования соответствующих очистных сооружений.

Поверхностные источники характеризуются большими колебаниями качества воды и количества загрязнений в отдельные периоды года. Качество воды рек и озер в большой степени зависит от интенсивности выпадения атмосферных осадков, таяния снега, а также от загрязнения ее поверхностными стоками и сточными водами городов и промышленных предприятий.

Речная вода обычно характеризуется значительным содержанием взвешенных веществ, т. е. мутностью, часто цветностью, малым содержанием солей, относительно малой жесткостью, наличием большого количества органических веществ, относительно высокой окисляемостью и значительным содержанием бактерий. Сезонные колебания качества речной воды нередко бывают весьма резкими. В период паводков, как казывалось ранее, сильно возрастает мутность и бактериаль-

ная загрязненность воды, но обычно снижается ее жесткость (щелочность и солесодержание). Сезонные изменения качества воды в значительной степени влияют на характер работы очистных сооружений водопровода в отдельные периоды года. Характерной особенностью речной воды является ее способность к самоочищению. Она выражается в том, что в результате ряда естественных биохимических процессов, протекающих в речной воде, концентрация загрязнений от поступающих в нее стоков постепенно уменьшается.

Морская вода (особенно вода океанов) отличается весьма высоким содержанием солей. Сухой остаток колеблется в пределах 3,3—3,6% массы воды. Общая жесткость ее достигает 140 мг-экв/л; при этом только около 4 мг-экв/л приходится на долю карбонатной жесткости. Морская вода в большой мере обладает коррозионным действием.

Воды подземных источников, особенно глубоко залегающие артезианские воды, характеризуются большой прозрачностью, отсутствием цветности, значительным содержанием различных минеральных солей (большой жесткостью и иногда наличием железа, марганца и др.). Санитарное состояние подземных вод, если они защищены водонепроницаемым слоем от проникания стоков с поверхности земли, бывает иногда настолько хорошим, что эти воды можно без какой-либо очистки подавать в сеть питьевых водопроводов.

§ 80. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Изучение качества воды природного источника позволяет установить характер необходимых операций по ее обработке. В некоторых случаях на очистные сооружения возлагается задача устранения какого-либо определенного недостатка природной воды или целого комплекса недостатков, а иногда — задача искусственного придания воде новых свойств, требуемых потребителем.

Все разнообразные задачи, возлагаемые на очистные сооружения, могут быть сведены к следующим основным группам:

- 1) удаление из воды содержащихся в ней взвешенных веществ (нерастворимых примесей), что обуславливает снижение ее мутности; этот процесс носит название осветления воды;
- 2) устранение веществ, обуславливающих цветность воды, — обесцвечивание воды;
- 3) уничтожение содержащихся в воде бактерий (в том числе болезнетворных) — обеззараживание воды;
- 4) удаление из воды катионов кальция и магния — умягчение воды; снижение общего солесодержания в воде — обессоливание воды; частичное обессоливание воды до остаточной концентрации солей не более 1000 мг/л носит название опреснения воды.

В некоторых случаях может производиться удаление отдельных видов солей (обескремнивание, обезжелезивание и т. п.).

Степень необходимой глубины осветления, обесцвечивания, обессоливания воды зависит от характера ее использования.

На очистные сооружения могут быть возложены также отдельные специальные задачи — удаление растворенных в воде газов (дегазация), устранение запахов и привкусов природной воды и др.

В некоторых случаях (в соответствии с требованиями производственных потребителей, условиями эксплуатации водопроводов или для успешного проведения операций по самой очистке воды) необходима спе-

специальная обработка воды для достижения требуемого значения pH, придания воде свойств стабильности и т. п.

Часть операций по обработке воды может быть отнесена к процессам собственно очистки воды: устранение мутности, цветности, удаление планктона, бактерий и избыточного количества растворенных солей. Но такие операции, как стабилизация воды, поддержание требуемого значения pH и т. п., имеющие целью придание воде свойств, необходимых для предотвращения коррозии трубопроводов, успешного протекания коагулирования воды и т. п., уже не могут быть отнесены к процессам очистки воды. Таким образом, понятие «обработка» воды является более общим, чем понятие «очистка» воды. Очистка воды — это частный случай ее обработки.

Как было сказано, для отдельных видов потребителей очистные сооружения должны решать комплексно несколько из указанных задач. Например, в хозяйственно-питьевых водопроводах, использующих речную воду, на очистные сооружения возложены задачи осветления, обесцвечивания, устранения запахов и привкусов воды, а иногда одновременно и ее умягчения.

Решение всех поставленных перед очистными сооружениями задач может проводиться путем использования различных технологических приемов. Так, осветление воды может быть достигнуто путем отстаивания и фильтрования ее. При этом отстаивание может быть простым механическим, когда очищаемая вода проходит через специальные бассейны (отстойники) с весьма малой скоростью. Время осаждения взвешенных частиц зависит от их размеров. Чем мельче частицы, тем больше времени потребуется для их осаждения. При этом коллоидные частицы могут находиться во взвешенном состоянии неопределенно долгое время. Для их осаждения, а также вообще для ускорения процесса осаждения взвеси применяют коагулирование. В воду, подлежащую осветлению, вводят химические реагенты (коагулянты), способствующие связыванию частиц, обуславливающих мутность, в крупные хлопья, что ускоряет их выпадение в отстойниках.

В ряде случаев воду для глубокого осветления после отстойников направляют на фильтры, где она дополнительно осветляется, проходя через слой фильтрующего материала. Такая двухступенчатая система осветления широко применяется при очистке речной воды, используемой для питьевого водоснабжения.

Для задержания находящихся в воде взвешенных веществ применяют также специальный метод осветления, при котором вода после коагулирования пропускается через слой взвешенных хлопьев (выпадающих в результате в осадок). Коагулирование одновременно способствует повышению эффективности процесса фильтрования воды.

Коагулирование воды с последующим ее отстаиванием и фильтрованием позволяет осуществить также и обесцвечивание воды.

Для некоторых производств, не требующих прозрачной воды, оказывается достаточным освобождение ее лишь от наиболее крупных взвешенных частиц, а также плавающих предметов. В этих случаях применяют грубую механическую очистку воды — процеживание, большей частью осуществляемое в водоприемных сооружениях, где для этой цели устанавливаются решетки и сетки (см. раздел IV).

Попутно с осветлением вода при коагулировании и фильтровании в значительной степени освобождается от бактерий, благодаря чему повышается ее качество с санитарной точки зрения.

Специальной операцией по уничтожению содержащихся в воде бактерий, в частности болезнетворных, является обеззараживание (дезин-

фекция) воды. Для обеззараживания применяют хлорирование или озонирование, а также бактерицидное облучение воды.

Для улучшения качества воды применяют также и другие операции: умягчение, обессоливание, дегазацию и др.

Далее детально рассматриваются процессы очистки воды, типы сооружений, необходимых для их осуществления, и схемы очистных станций.

§ 81. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА КОМПЛЕКСА ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Очистные сооружения являются одним из составных элементов системы водоснабжения и тесно связаны с ее остальными элементами.

Вопрос о месте расположения очистной станции решается при выборе схемы водоснабжения объекта. Часто очистные сооружения располагают вблизи источника водоснабжения и, следовательно, в незначительном удалении от насосной станции первого подъема.

Наибольшее распространение в практике водоочистки (особенно в городских водопроводах) имеют схемы очистных сооружений с самотечным движением воды. Вода, поданная насосами станции первого подъема, самотеком проходит последовательно все очистные сооруже-

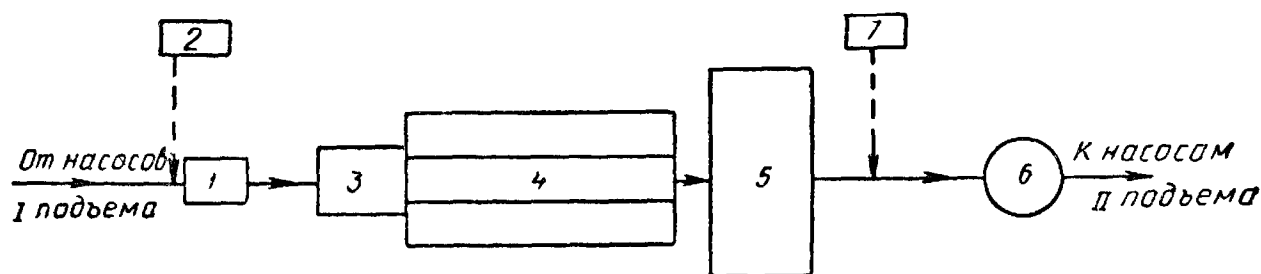


Рис. V.1

ния и поступает в сборный резервуар (резервуар чистой воды), из которого забирается насосами станции второго подъема. Таким образом, резервуар чистой воды непосредственно связан с комплексом очистных сооружений и должен быть расположен вблизи от них, так же как и насосная станция второго подъема.

Решению вопроса о компоновке очистных сооружений должны предшествовать выбор схемы технологического процесса очистки воды, а также установление типа, числа и размеров отдельных сооружений (отстойников, фильтров и др.). Этот выбор производится на основе результатов технологических анализов воды источника и в зависимости от требований потребителей к качеству воды. Выбор схемы очистки воды, типа сооружений и их компоновки должен быть сделан на основании технико-экономических сравнений возможных вариантов.

Очистные станции водопроводов населенных мест могут осуществляться по одноступенчатым или двухступенчатым схемам (в зависимости от качества воды источника).

На рис. V.1 в качестве примера показано взаимное расположение отдельных сооружений станции осветления и обеззараживания воды, подаваемой для хозяйственно-питьевых целей, осуществленной по двухступенчатой схеме. В данном случае процесс очистки воды включает следующие операции: коагулирование воды, осветление ее в горизонтальных отстойниках, фильтрование и обеззараживание при помощи хлорирования. Вода, подаваемая насосной станцией первого подъема, посту-

пает прежде всего в смеситель 1, куда вводится раствор реагентов (заготавливаемых в помещении реагентного хозяйства 2), необходимых для коагулирования, и где происходит их смешение с водой. Из смесителя вода поступает в камеру хлопьеобразования 3, где происходит формирование хлопьев коагулянта, и затем проходит последовательно через горизонтальные отстойники 4 и фильтры 5. Пройдя фильтры, осветленная вода поступает в резервуар чистой воды 6. В трубу, подающую в него воду, вводится хлор из хлорагортной 7. Необходимый для обеззараживания воды контакт ее с хлором обеспечивается в резервуаре 6.

В некоторых случаях хлор в воду подают дважды: перед смесителем (первичное хлорирование) и после фильтров (вторичное хлорирование).

Сооружения для коагулирования и осветления воды одновременно осуществляют и обесцвечивание воды.

Представленная схема может рассматриваться как общая принципиальная схема очистных сооружений для речной воды, подаваемой в хозяйственно-питьевые водопроводы.

Вместо горизонтальных отстойников 4 могут быть использованы вертикальные отстойники со встроенными в них камерами хлопьеобразования или осветлителя (со взвешенным осадком); в последнем случае отпадает элемент 3.

При одноступенчатой схеме очистки воды ее осветление осуществляется на фильтрах или в контактных осветлителях (без использования отстойников).

Для схемы с самотечным движением воды в очистных сооружениях следует наиболее целесообразно использовать рельеф местности в целях уменьшения строительной стоимости их (путем уменьшения требуемого заглубления отдельных сооружений и, следовательно, объема земляных работ, снижения стоимости фундаментов и т. п.). Поэтому при проектировании очистных сооружений предварительно составляют так называемую «высотную схему станции», уточняемую в дальнейшем. Высотная схема устанавливает взаимосвязь между уровнями воды и характерными отметками отдельных элементов очистной станции. Схему составляют, задавшись отметкой наивысшего уровня в резервуаре чистой воды. Приблизленно принимая обычные (по опыту) потери напора в отдельных сооружениях и в соединяющих их трубах, вычисляют требуемые отметки уровней воды в остальных сооружениях.

В отдельных случаях приведенная основная схема очистных сооружений хозяйственно-питьевых водопроводов может быть дополнена устройствами для устранения запахов и привкусов воды, для ее умягчения и др.

Схемы обработки подземных вод для хозяйственно-питьевых водопроводов в ряде случаев более просты, так как включают лишь сооружения для обеззараживания воды. При использовании подземных вод большой жесткости или содержащих железо схемы их обработки включают сооружения для умягчения или обезжелезивания воды.

Схемы очистки и обработки воды для нужд производства весьма разнообразны, как и требования к качеству воды, предъявляемые различными производственными потребителями. Для ряда потребителей эти схемы весьма просты, как, например, схемы грубого осветления воды. Некоторые же производственные потребители требуют воду такого качества, какой вообще нет в природных источниках. В этих случаях приходится применять сложные схемы, предусматривающие использование различных физических и химических методов обработки природной воды для придания ей требуемых качеств.

Некоторые виды обработки воды допускают использование схемы подачи воды через очистные сооружения под напором. При такой схеме отпадает необходимость в насосной станции второго подъема, и вода после очистки под оставшимся напором может поступать к потребителю. В этом достоинство напорных схем. Однако сопряженные с применением таких схем усложнение и удорожание конструкций очистных сооружений ограничивают их применение и делают их экономически оправданными обычно лишь при относительно небольших расходах очищаемой воды.

Комплекс очистных сооружений должен быть запроектирован на расчетный расход, включающий максимальное суточное водопотребление снабжаемого объекта и собственные нужды станций.

Очистные сооружения рассчитывают, как правило, на равномерную подачу воды в течение суток.

Глава 17

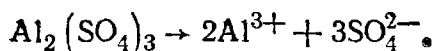
КОАГУЛИРОВАНИЕ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ КОАГУЛЯЦИИ

§ 82. ПРОЦЕСС КОАГУЛИРОВАНИЯ

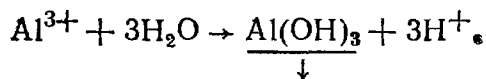
В практике очистки природных вод для целей водоснабжения коагулирование применяется весьма широко. Теоретические основы коагуляции излагаются в курсе «Химия воды и микробиология»¹. Здесь дается лишь весьма краткое описание процесса коагулирования, используемого при осветлении и обесцвечивании воды.

Наиболее часто применяемыми реагентами при коагулировании (коагулянтами) в настоящее время являются: сернокислый алюминий $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, железный купорос FeSO_4 и хлорное железо FeCl_3 .

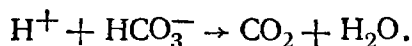
При введении в осветляемую воду сернокислого алюминия происходит его диссоциация:



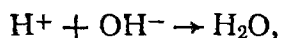
Далее имеет место ионный обмен катионов алюминия на катионы, сорбированные содержащимися в воде глинистыми частицами. В результате гидролиза оставшихся в избытке катионов алюминия происходит образование выпадающей в осадок гидроокиси алюминия:



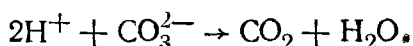
Катионы водорода оказывают отрицательное влияние на протекание указанного процесса. Они реагируют с имеющимися в воде бикарбонатами:



Если естественная щелочность воды для хода этой реакции недостаточна, то воду необходимо подщелачивать. Для этого в нее вводят известь или соду. Связывание водородных катионов идет в случае добавления извести по уравнению

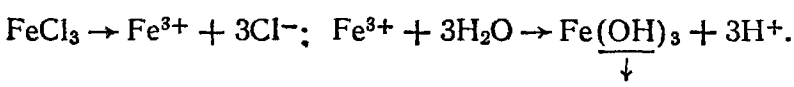


а при добавлении соды по уравнению



¹ См., например, Н. Ф. Возная. Химия воды и микробиология. М., «Высшая школа», 1967.

При применении в качестве коагулянта хлорного железа реакция с образованием хлопьевидной взвеси $\text{Fe}(\text{OH})_3$ протекает аналогично описанным выше:



Хорошие результаты дает также применение железного купороса с одновременным хлорированием воды. Введение хлора облегчает процесс коагуляции и способствует окислению закисного железа.

Сернокислый алюминий выпускается нашей промышленностью двух сортов: очищенный и неочищенный. Первый содержит не менее 40%, а второй — не менее 35,5% безводного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Этот коагулянт требует применения устройств, интенсифицирующих процесс его растворения.

Необходимая доза коагулянта D_k устанавливается путем проведения технологического анализа воды используемого источника или на основании опыта эксплуатации очистных сооружений, работающих на воде данного источника.

При отсутствии данных специального технологического анализа для предварительных ориентировочных подсчетов при проектировании сооружений для осветления воды доза коагулянта, считая на безводную соль $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, может быть принята в зависимости от мутности очищаемой воды по табл. V.1.

Таблица V1

Содержание в воде взвешенных веществ в мг/л	Доза безводного сернокислого алюминия или хлорного железа в мг/л	Содержание в воде взвешенных веществ в мг/л	Доза безводного сернокислого алюминия или хлорного железа в мг/л
100	25—35	1000	60—90
200	30—45	1400	65—105
400	40—60	1800	75—115
600	45—70	2200	80—125
800	55—80		

Меньшие значения дозы относятся к водам, содержащим грубодисперсную взвесь.

При коагулировании воды для снижения ее цветности доза коагулянта $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ может быть определена по эмпирической формуле

$$D_k = 4 \sqrt{C},$$

где C — цветность воды в градусах по платино-кобальтовой шкале.

При коагулировании воды одновременно для ее осветления и обесцвечивания принимают большее значение дозы коагулянта из полученных по табл. V.1 и приведенной формуле.

Определив требуемую дозу коагулянта D_k мг/л и зная минимальную щелочность $Щ$ мг-экв/л природной воды (обычно равную ее карбонатной жесткости), можно определить дозу извести $D_{\text{и}}$, выраженную в CaO , необходимую для искусственного подщелачивания воды. Принимая резерв щелочности в 1 мг-экв/л, получим искомую дозу извести по формуле

$$D_{\text{и}} = 28(0,0178 D_k - Щ + 1) \text{ мг/л}$$

или дозу соды Na_2CO_3 , если применять ее вместо извести:

$$D_{\text{с}} = 53(0,0178 D_k - Щ + 1) \text{ мг/л}.$$

Здесь 28 и 53 — соответственно эквивалентные массы извести и соды; 0,0178 — требуемое количество щелочи в мг-экв на 1 мг/л вводимого $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

На ход процесса коагуляции большое влияние оказывает качество

природной воды (количество и характер содержащихся в ней взвешенных веществ, окисляемость, солевой состав, рН, температура).

Значительная окисляемость воды, обусловленная наличием в ней органических веществ, требует увеличения дозы коагулянта.

При коагулировании вод различного качества различными коагулянтами может быть установлено для каждого случая оптимальное значение рН воды. Так, при коагулировании мутных вод благоприятным является относительно высокое значение рН. Наоборот, коагулирование вод большой цветности (мягких) идет успешнее при относительно низком значении рН.

Более высокие температуры способствуют протеканию процесса коагулирования.

Для интенсификации процесса коагулирования с успехом применяются флокулянты — высокомолекулярные вещества (минеральные или органические). В настоящее время из минеральных флокулянтов наиболее широкое применение в практике очистки воды получила активированная кремниевая кислота, а из органических — полиакриламид. Дозы флокулянтов зависят от качества обрабатываемой воды (сырой, отстойной). Использование флокулянтов позволяет сократить дозу коагулянта.

Флокулянты вводятся в обрабатываемую воду одновременно с введением коагулянтов, до или после них (порядок введения реагентов определяется экспериментально).

Следует отметить, что расчетные дозы реагентов позволяют установить размеры и производительности сооружений для их растворения и дозирования, при этом годовой расход реагентов определяется с учетом изменения доз реагентов при сезонных изменениях качества воды используемого источника.

Кроме изложенного процесса коагуляции, происходящего в объеме обрабатываемой воды, в практике водоочистки используется также процесс контактной коагуляции, происходящий в слое зернистой загрузки фильтров или контактных осветлителей (см. § 107).

§ 83. КОМПЛЕКС СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ КОАГУЛИРОВАНИЯ

На очистных станциях современных водопроводов установки, связанные с процессом коагулирования, обычно включают сооружения для подготовки и дозирования реагентов (реагентное хозяйство), для смешения осветляемой воды с реагентами (смесители), для хлопьеобразования (камеры хлопьеобразования).

Доставляемый на станцию коагулянт может храниться или в сухом виде, или в виде концентрированного раствора. Последнее весьма рационально, особенно на станциях большой производительности.

Коагулянт должен быть введен в очищаемую воду до ее поступления в отстойник или осветлитель. Если свойства природной воды требуют ее подщелачивания, то реагенты, повышающие щелочность воды, также должны быть поданы в воду до ее поступления в отстойник.

Наиболее часто применяемые для коагулирования и подщелачивания реагенты (сернокислый алюминий и известь) представляют собой твердые вещества. Подобные реагенты вводятся в осветляемую воду в виде раствора, суспензии или порошка. В практике очистки воды в СССР коагулянт вводится в воду в виде раствора, а известь — преимущественно (вследствие ее слабой растворимости) в виде суспензии.

Дозирование коагулянта в виде порошка получило значительное распространение в США.

В настоящей главе рассмотрены устройства для приготовления раствора коагулянта, его дозирования и смешения с осветляемой водой.

Для надлежащего действия реагента при введении его в очищаемую воду надо обеспечить совершенное смешение. Для этой цели служат смесители различных типов и конструкций. В смесителе начинаются реакции взаимодействия введенных в воду реагентов с веществами, находящимися в исходной воде. Однако для образования хлопьев надлежащего размера, обеспечивающих хорошее качество осветления воды при их осаждении, требуется определенное время. Поэтому прежде чем подавать воду из смесителя в отстойники, ее направляют в так называемые камеры хлопьеобразования, где происходит образование достаточно крупных хлопьев коагулянта. Рост хлопьев происходит быстрее при плавном перемешивании воды (со скоростями движения, не вызывающими разрушения хлопьев).

§ 84. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАСТВОРА КОАГУЛЯНТА И ЕГО ДОЗИРОВАНИЯ

Для приготовления раствора коагулянта на станциях разной производительности применяют различные устройства.

На рис. V.2 показана установка для приготовления раствора очищенного сернокислого алюминия на станциях небольшой (до 1000 м³/сутки) производительности. При хранении коагулянта в сухом виде его загружают в «растворные» баки 1, куда подается вода для его растворения. Дно растворных баков устроено в виде колосников. Для интенсификации процесса растворения под колосники по системе дырчатых труб 3 подается сжатый воздух. Полученный раствор поступает в нижние — рабочие (расходные) баки 2, где доводится до требуемой концентрации (добавлением воды). По дну рабочих баков также проложена система дырчатых труб 4, через которые подается сжатый воздух для перемешивания (барботаж) раствора. Из рабочих баков раствор требуемой концентрации поступает через дозаторы в смеситель.

Для возможности непрерывного приготовления и непрерывной подачи раствора устанавливается не менее двух растворных и двух рабочих баков, работающих попеременно.

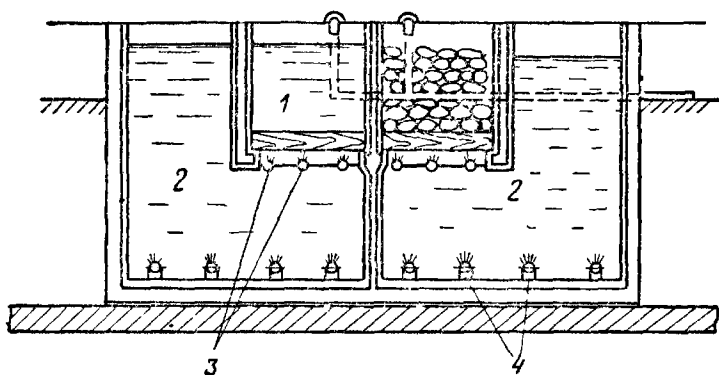
На станциях большей производительности растворные и расходные баки обычно конструктивно разделяются. На рис. V.3 показана конструкция одного из таких отдельных растворных баков. Здесь также осуществляется перемешивание раствора сжатым воздухом. Дно бака коническое для приема осадка (что особенно необходимо при использовании неочищенного коагулянта).

Раствор отбирается из верхней части бака при помощи поплавкового устройства и гибкого шланга, что дает возможность подавать в рабочие баки раствор с небольшим количеством взвеси.

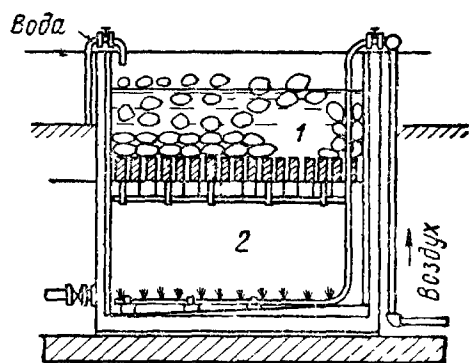
Ускорение процесса растворения коагулянта может быть достигнуто использованием подогретой (до 50—60° С) воды.

Емкость растворных баков W_p можно определять в зависимости от производительности станции Q м³/ч, расчетной дозы коагулянта

Продольный разрез



Поперечный разрез



План

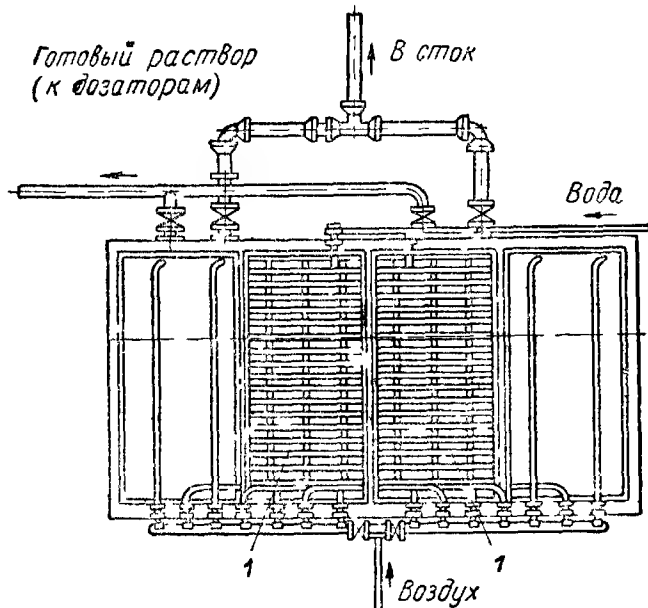
Готовый раствор
(к дозаторам)

Рис V.2

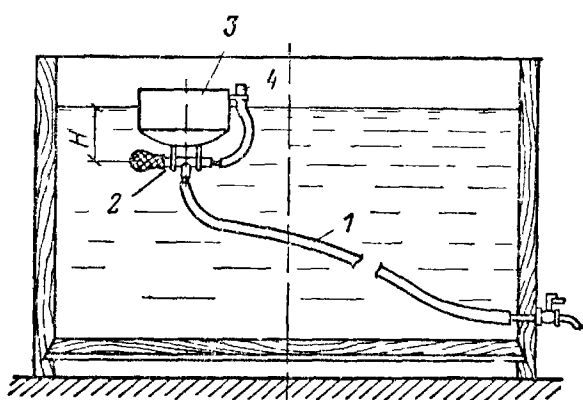
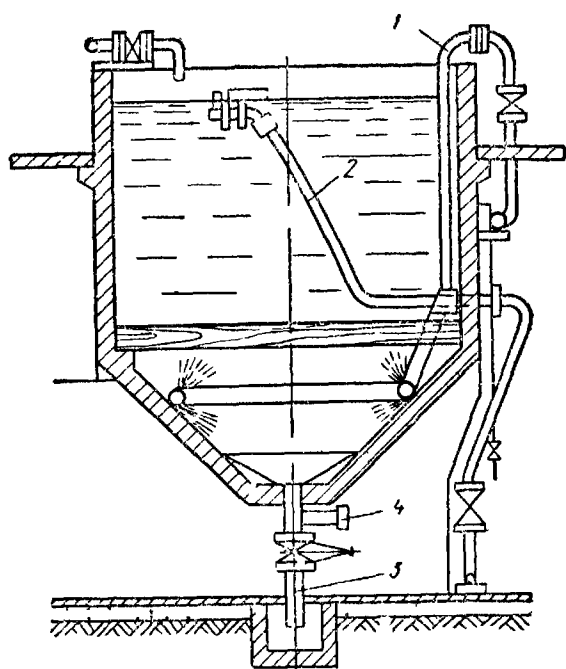


Рис. V.4

Рис. V.3

1 — труба для подвода сжатого воздуха;
 2 — шланг с поплавком для отбора осветленного раствора, 3 — выпуск осадка;
 4 — патрубок для подвода воды в целях взрыхления осадка перед его выпуском

D_k г/м³, числа часов работы n , на которые производится заготовка раствора, принятой концентрации раствора b_1 % и объемной массы раствора коагулянта γ т/м³ по формуле.

$$W_p = \frac{D_k n Q}{10\,000 b_1 \gamma}.$$

Обычно принимают $b_1 = 17-18\%$ (по безводному продукту); $\gamma = 1$ т/м³; $n = 12-24$ ч для станций производительностью до 10 тыс. м³/сутки; $n = 8-10$ ч для станций производительностью от 10 до 50 тыс. м³/сутки; $n = 6-8$ ч для станций производительностью более 50 тыс. м³/сутки.

Емкость расходных баков W при концентрации раствора в них b_2 будет:

$$W = \frac{b_1}{b_2} W_p.$$

Обычно принимают b_2 от 4 до 12%.

В настоящее время на очистных станциях большой производительности начинают применять заготовку больших количеств раствора коагулянта высокой концентрации с постепенной его подачей и разбавлением в расходных баках. Это позволяет избежать частого повторения операций по загрузке баков, усовершенствовать (механизировать и автоматизировать) операции, связанные с приготовлением растворов, и снизить эксплуатационные расходы на очистных станциях.

Такие хорошо растворимые коагулянты, как железный купорос и хлорное железо, обычно растворяют в тех же баках, из которых их расходуют. Для таких коагулянтов находят применение баки с механическими мешалками.

Устройства для приготовления и дозирования раствора коагулянта удобно располагать над смесителем, чтобы раствор мог поступать туда самотеком. На станциях значительной производительности установка в верхних этажах громоздких и тяжелых растворных баков неудобна, поэтому здесь раствор коагулянта готовят внизу, перекачивая его затем в расположенные наверху дозирующие устройства либо через напорные дозаторы (см. далее).

Ввиду того что раствор сернокислого алюминия обладает коррозионными свойствами, баки для его приготовления, арматура, насосы и трубопроводы для его перекачки должны быть специально защищены от коррозии или выполнены из некорродирующих материалов.

Устройства для дозирования реагентов (дозаторы) могут быть отнесены к двум типам: а) дозаторы, которые устанавливаются на подачу постоянного количества реагента в единицу времени, и б) дозаторы, автоматически меняющие количество реагента при изменении расхода очищаемой воды (пропорциональные дозаторы).

Очевидно, что дозаторы первого типа могут обеспечить подачу в воду заданной дозы реагента лишь при условии неизменного расхода очищаемой воды.

В зависимости от того, как подается дозируемый раствор реагента — самотеком или под напором, применяют открытые или напорные дозаторы.

В современной практике очистки воды используются дозаторы

различных типов и конструкций. Здесь приводятся лишь некоторые из них.

На рис. V.4 показано устройство простейшего и весьма распространенного поплавкового дозатора системы В. В. Хованского для подачи постоянного расхода раствора реагента. Раствор отводится из дозатора через гибкую трубку 1, на конце которой находится шайба (диафрагма) 2 с предохранительным колпачком, подвешенная при помощи поплавка 3 на определенной постоянной глубине под уровнем раствора. Воздушная трубка 4, сообщаемая с атмосферой, обеспе-

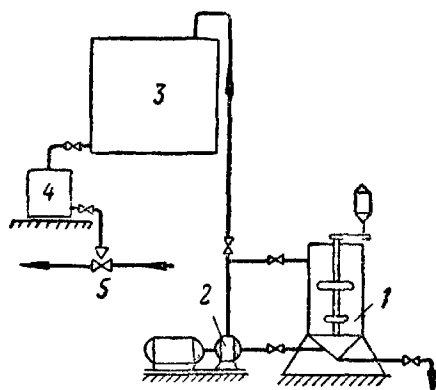
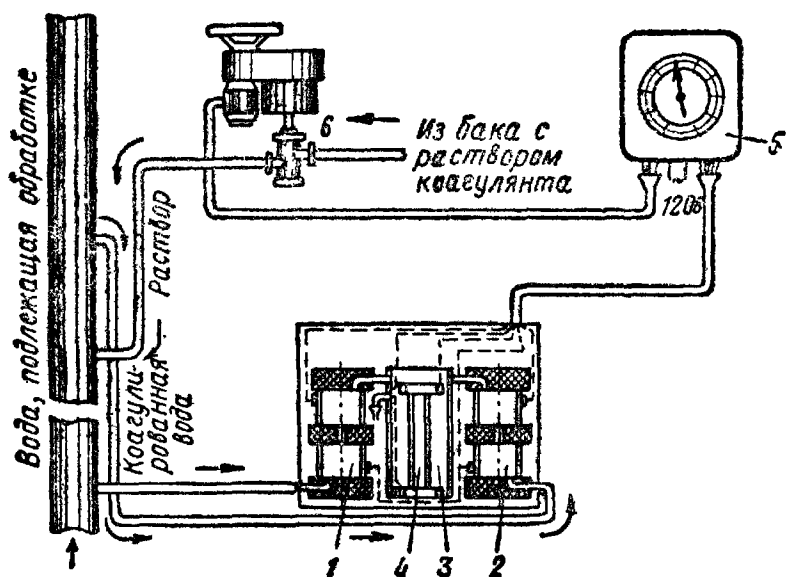


Рис. V.6

Рис. V.5

чивает постоянное давление за шайбой. Все это позволяет поддерживать постоянный расход раствора независимо от изменения его уровня в баке. Меняя отверстие диафрагмы, можно получить требуемый расход раствора коагулянта.

На рис. V.5 показана принципиальная схема устройства автоматического пропорционального дозатора раствора коагулянта системы Чейшвили—Крымского. Действие дозатора основано на изменении разности электропроводности воды до и после введения в нее коагулянта. Некоагулированная вода подается к электролитической ячейке 1, а коагулированная — к ячейке 2. Оттуда вода направляется в сосуд 3, в котором расположена компенсационная электролитическая ячейка 4, и отводится в сток. Электропроводность коагулированной воды (ячейка 2) будет больше, чем некоагулированной (ячейка 1); разность электропроводностей ячеек 2 и 1 можно рассматривать как добавочную электропроводность, величина которой соответствует количеству коагулянта, введенного в воду. Дозатор автоматически поддерживает заданную дозу коагулянта при помощи электронного равновесного моста 5. При отклонении расхода коагулянта от заданной дозы равновесный мост воздействует на электропривод регулирующего вентиля 6, установленного на трубе, подающей раствор коагулянта, и, меняя степень его открытия, восстанавливает требуемую дозу. Ячейка 4 служит для устранения влияния колебаний температуры воды.

Большим достоинством рассмотренного дозатора является то, что при его применении не требуется обеспечивать постоянную концентрацию раствора коагулянта в баке. При изменении концентрации будет автоматически меняться расход подаваемого раствора и тем самым бу-

дет поддерживаться заданная доза коагулянта. При этом можно обойтись одним затворно-растворным баком небольшой емкости¹.

На рис. V.6 дана схема устройства для приготовления раствора полиакриламида. Полиакриламид, представляющий собой вязкий гель, доставляется на станцию в бочках и вводится в очищаемую воду в виде 1%-ного раствора. В схему входят: бак 1 с мешалкой, циркуляционный насос 2, расходный бак 3, дозатор 4, эжектор 5 на трубе, подающей раствор в очищаемую воду.

§ 85. СМЕСИТЕЛИ

Для надлежащего действия вводимых в воду реагентов необходимо быстрое и полное смешение их с водой. Его осуществляют при помощи специальных устройств — смесителей. В смеситель подается вся подлежащая обработке вода. Раствор реагента, прошедший дозатор, вводится в подающую трубу перед смесителем или в головную часть смесителя. Смешение раствора реагента с водой может быть осуществлено путем создания сильно завихренного движения воды в пределах

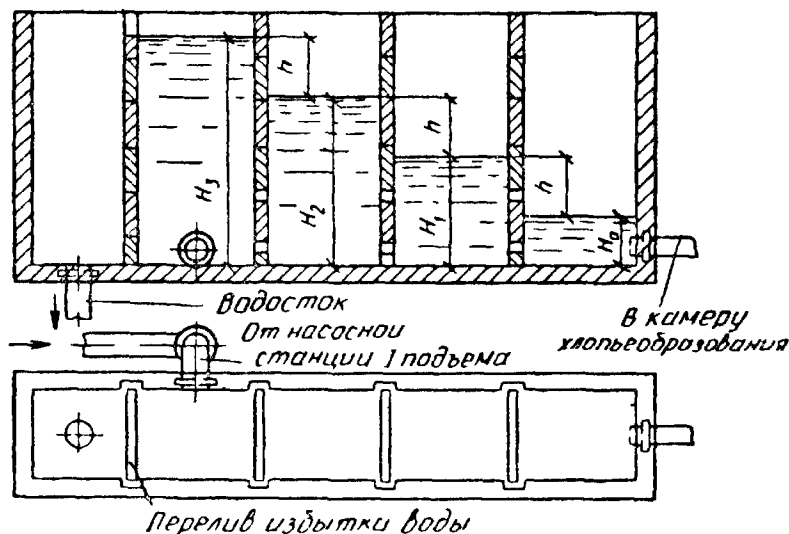


Рис. V.7

смесителя или путем механического перемешивания воды в смесителе различными мешалками. В нашей практике преимущественно используются системы, основанные на первом принципе. Они обеспечивают достаточно полное смешение и более просты и надежны в эксплуатации. Наиболее распространенными типами таких смесителей являются дырчатый, перегородчатый и вертикальный. В соответствии с требованиями СНиП II-Г.3-62 продолжительность пребывания воды в смесителе не должна превышать 2 мин.

Дырчатый смеситель выполняют в виде железобетонного или металлического лотка с дырчатыми перегородками (рис. V.7). Обычно устраивают три перегородки. Расстояние между перегородками принимают равным ширине смесителя. Скорость движения воды в лотке (за последней перегородкой) $v \approx 0,6$ м/с, средняя скорость в отверстиях

¹ Ряд дозаторов других систем описан в книге А. А. Кастальского и Д. М. Минца «Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения» (М., «Высшая школа», 1962) и в книге В. А. Клячко и И. Э. Апельдина «Очистка природных вод» (М., Стройиздат, 1971).

$v_0 \approx 1$ м/с. Суммарная площадь отверстий в каждой перегородке $\omega = q/v_0$, площадь каждого отверстия $\omega_0 = \omega/n$, где n — число отверстий. Практически диаметр отверстий принимается от 20 до 100 мм. Задаваясь диаметром отверстий (в этих пределах), можно определить требуемое число отверстий n . Потери напора в отверстиях каждой перегородки $h = v_0^2 / (\mu^2 2g)$, где μ — коэффициент расхода, равный 0,65—0,75.

Задаваясь уровнем воды за последней перегородкой ($H_0 = 0,4—0,5$ м) и прибавляя к нему найденные потери напора h , можно получить уровень воды в каждом отделении смесителя. Уровень воды перед каждой перегородкой должен обеспечить затопление всех отверстий в ней. Истечение из верхнего ряда отверстий может происходить и не под уровень.

Определенный таким образом уровень воды в первом отделении смесителя дает наивысшую отметку, на которую должна быть подана вода насосами первого подъема и которая обеспечивает самотечное движение воды по всему комплексу очистных сооружений.

При помощи дырчатого смесителя достигается весьма хорошее смешение.

Перегородчатый смеситель (рис. V. 8) представляет собой прямо-

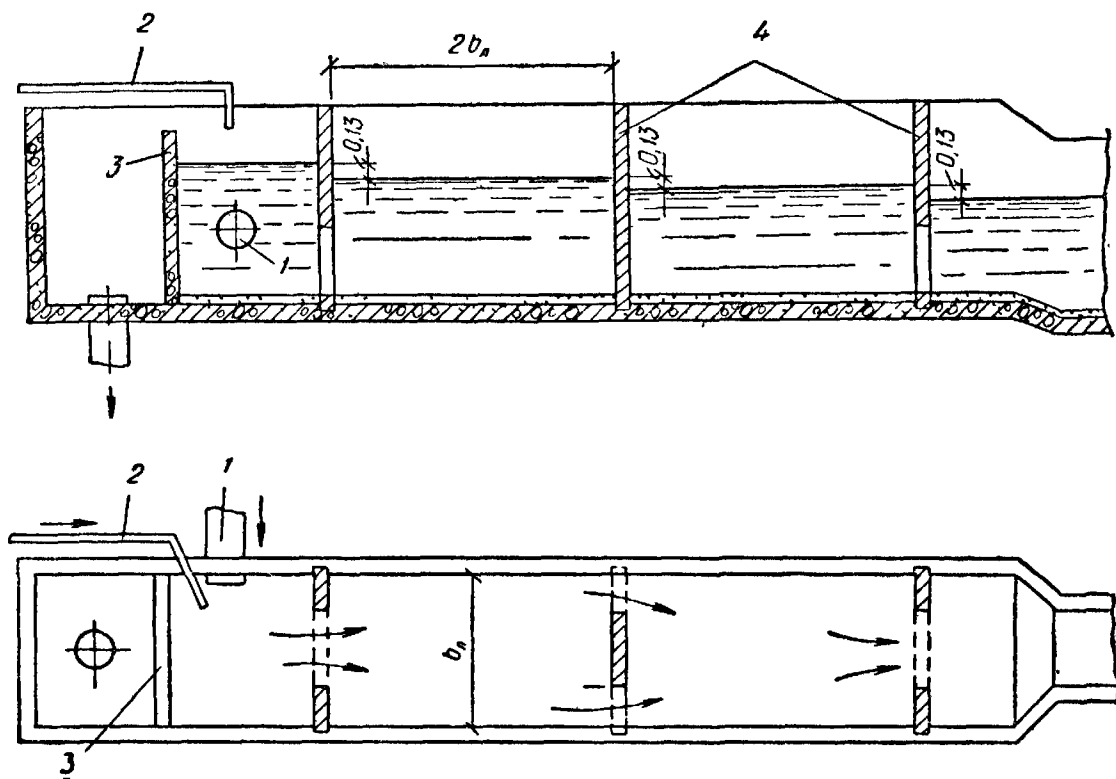


Рис. V.8

1 — труба для подвода воды; 2 — труба для подвода реагента; 3 — перелив; 4 — перегородки

угольный лоток, в котором последовательно установлено несколько перегородок с проемами, обуславливающими непрерывное изменение направления струй воды и скорости движения. Расчетная скорость движения воды в лотке принимается равной 0,6 м/с, а в проемах — 1 м/с. Расстояние между перегородками принимается равным двойной ширине лотка b_n . При подобных условиях падение уровня между отделениями будет составлять около 0,13 м.

Перегородчатый смеситель является более современной конструктивной разновидностью так называемого ершового смесителя, в котором перегородки ставились под некоторым углом к стенке лотка.

Смеситель вертикального (вихревого) типа, предложенный ВНИИ ВОДГЕО, основан на принципе турбулизации потока благодаря значительному изменению его живого сечения и соответствующему изменению его скорости.

Устройство такого смесителя схематически показано на рис. V.9. Вода подается по трубе 1, раствор реагента вводится через патрубок 2. Перемешивание осуществляется благодаря изменению скорости движения воды при переходе ее в конической части смесителя от узкого сечения к широкому. Отвод воды производится из верхней части смесителя через кольцевой желоб 3 (или по системе горизонтально расположенных дырчатых труб). Скорость в узком сечении конической части смесителя порядка 1 м/с, в цилиндрической части около 25 мм/с, время пребывания воды в камере около 1,5—2 мин, угол конусности 30—45°.

Смесители этого типа можно с успехом использовать в установках для осветления воды, а также для ее умягчения в широком диапазоне производительности. При известковании воды во всех случаях следует применять вертикальные смесители.

Вихревые смесители устраивают как круглыми, так и прямоугольными в плане (с пирамидальным днищем).

В некоторых установках смешение реагентов с водой осуществляется без специальных смесителей — путем впуска раствора реагента во всасывающую трубу насоса или в трубу, подающую воду к очистным сооружениям. Первый способ дает хорошее перемешивание, но применение его не всегда возможно и рационально из-за условий компоновки сооружений и неудобств, связанных с подачей реагента к насосам первого подъема, часто далеко отстоящим от основного узла очистных сооружений. Второй способ требует применения насоса или инжектора для введения

раствора реагента в подающую трубу или расположения дозирующих устройств на соответственно большей высоте. При этом расстояние от места впуска реагента до камеры хлопьеобразования должно быть

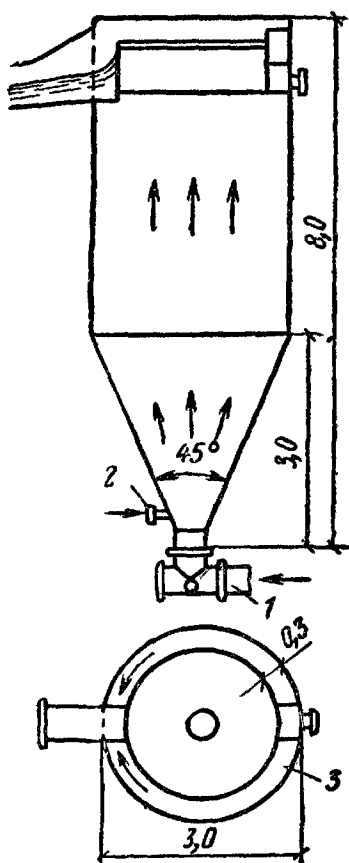


Рис. V.9

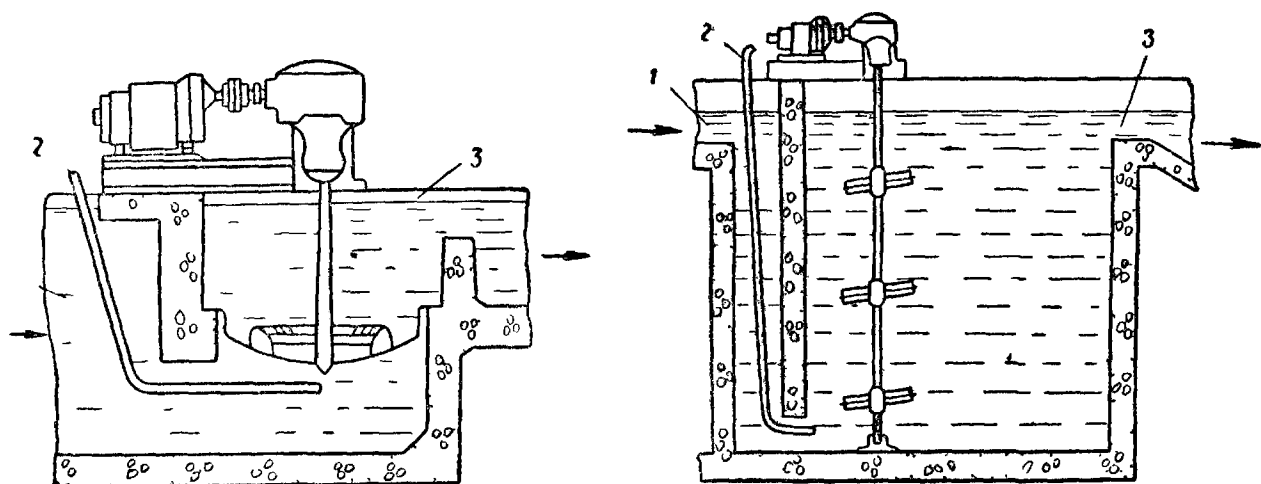


Рис. V.10

1 — подвод воды; 2 — трубка для подвода реагента; 3 — отвод воды

определено из условия, чтобы потери напора в этом участке трубы составляли 0,3—0,4 м, включая потери напора на местные сопротивления (повороты трубы и т. п.).

К последнему способу может быть отнесен применяемый в ряде случаев выпуск раствора реагентов в подающую трубу в пределах самой очистной станции. За местом ввода реагентов на подающей трубе устанавливается шайба (диафрагма), выполняющая роль смесителя.

Смесители мешалочного типа, как было сказано, основаны на механическом перемешивании воды с введенным в нее реагентом.

На рис. V.10 показаны механические смесители с горизонтально расположенным пропеллером и с лопастными мешалками. Время пребывания воды в пропеллерных механических смесителях составляет 10—13 с, в смесителях с лопастными мешалками (с вертикальной осью) — 30—60 с.

§ 86. КАМЕРЫ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ

Камеры хлопьеобразования применяются в настоящее время лишь в схемах осветления воды, включающих отстойники.

Назначение камер хлопьеобразования — обеспечить образование хлопьев коагулянта. Процесс хлопьеобразования, начинающийся после смешения воды с реагентами, протекает относительно медленно, и для получения достаточно крупных хлопьев (для осаждения) требуется 10—30 мин. Процессу хлопьеобразования способствует плавное перемешивание воды. Скорость движения воды при перемешивании должна быть достаточной для предотвращения выпадения хлопьев коагулянта в пределах камеры, но не настолько большой, чтобы вызвать разбивание образовавшихся хлопьев.

Наибольшее распространение имеют камеры хлопьеобразования следующих типов: а) перегородчатые; б) вихревые; в) водоворотные; г) лопастные.

Перегородчатая камера (рис. V.11) представляет собой резервуар, разделенный перегородками на ряд последовательно проходимых водой коридоров 1. Окна 2 с шиберами позволяют выключать отдельные коридоры и менять длину пути воды в камере. Число поворотов

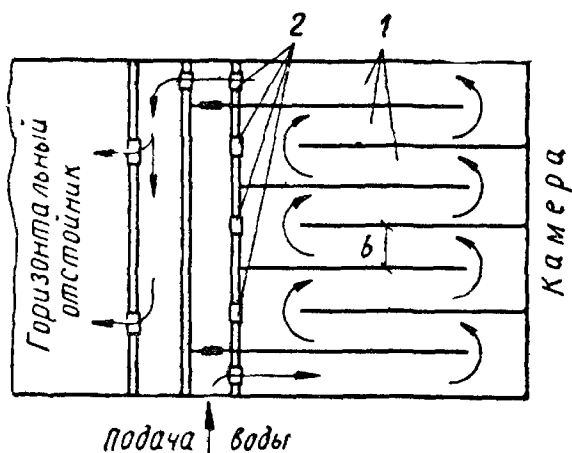


Рис. V.11

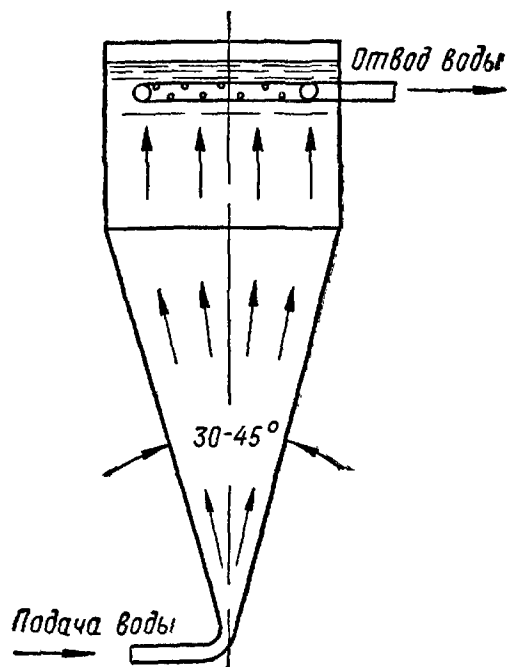


Рис. V.12

потока обычно принимают равным восьми-десяти. Для выпуска осадка дну камеры придается уклон. Осадок удаляется через систему сборных труб.

Кроме наиболее распространенных горизонтальных перегородчатых камер, устройство которых в плане представлено схематически на рис. V.11, применяют также перегородчатые камеры с вертикальным попеременно восходящим и нисходящим движением воды.

Объем камеры определяют исходя из указанного выше времени пребывания в камере обрабатываемой воды и ее расхода Q . Скорость движения воды в камере принимают равной 0,2—0,3 м/с. В горизонтальных камерах хлопьеобразования ширина коридора, образуемого перегородками, $b = Q/(vH)$ принимается не менее 0,7 м. Здесь H — глубина воды в камере.

Потери напора определяют по формуле

$$h = n\zeta \frac{v^2}{2g} + h_{\tau},$$

где n — число поворотов потока;

h_{τ} — потери напора на трение по всей длине камеры.

Если принять $\zeta = 3$ и пренебречь потерями напора на трение ввиду их относительно малой величины, то формула для h примет вид

$$h = 0,15 nv^2.$$

Перегородчатые (горизонтальные) камеры применяют обычно для станций большой производительности (более 30 тыс. м³/сутки). Их удобно устраивать непосредственно примыкающими к горизонтальным отстойникам (как схематически показано на рис. V.11).

Камеры вихревого типа (предложены впервые Е. Н. Тетеркиным для станций умягчения воды) основаны на том же принципе изменения скорости потока, что и вихревой смеситель. Эти камеры могут иметь коническую форму (в комбинации с цилиндром) или призматическую.

Камера первого типа показана схематически на рис. V.12. Вода подается в нижнюю часть корпуса. Скорость движения воды в конической части меняется от 0,7 м/с в нижнем сечении до 4—5 м/с в верхнем сечении. Время пребывания в камере 6—10 мин. Из верхней, цилиндрической части камеры вода отводится обычно системой дырчатых труб.

В вихревые камеры призматической формы вода поступает через нижнюю, продольную щель и отводится из верхней части камеры сборными дырчатыми трубами, погруженными в воду.

Водоворотные камеры чаще всего объединяют конструктивно с вертикальными отстойниками, совмещая с их центральной трубой (см. далее рис. V.21). Вода поступает в камеру через два расположенных в ее верхней части насадка, подобных насадкам в сегнеровом колесе. Эти насадки направляют струи воды по касательным к цилиндрическим стенкам трубы. Скорость выхода воды из насадков 2—3 м/с. Благодаря этому получается вращательное движение воды в верхней части камеры. В нижней ее части устраивают гаситель в виде решетки из поставленных на ребро досок, переводящий вращательное движение воды в поступательное.

Время пребывания воды в камере 15—20 мин.

В лопастных камерах перемешивание воды достигается вращением мешалок, приводимых в движение электродвигателем. Различают лопастные камеры с вертикальной и горизонтальной осью вращения мешалок. Первые представляют собой железобетонные резервуары, рассчитанные на 10—20-минутное пребывание в них обрабатываемой

воды. В центре камеры располагается вертикальная ось с сидящими на ней лопастями. Средняя скорость движения воды в камере 0,2—0,5 м/с.

Глава 18

ОТСТАИВАНИЕ ВОДЫ

§ 87. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕСИ В ВОДЕ

При исследовании процесса осаждения взвеси в сооружениях для осветления воды возникают большие трудности, так как это явление крайне сложно. На характер осаждения частиц взвеси влияют их размер и форма, наличие и режим движения осветляемой воды и ее вязкость (изменяющаяся с температурой). Встречаемые в практике мутные воды всегда представляют собой полидисперсную систему, т.е. содержат частицы различных размеров, а также различных форм. Наконец, весьма часто (при коагулировании) приходится иметь дело с осаждением агрегативно-неустойчивой взвеси, частицы которой в процессе осаждения меняют свою структуру и размеры.

Все это крайне затрудняет математическое выражение законов осаждения взвеси и получение точных методов расчета отстойников.

Рассмотрим некоторые теоретические предпосылки, которые могут быть положены в основу методики расчета отстойников.

Очевидно, что основной величиной, которая нас будет интересовать при проектировании и расчете отстойников, является скорость выпадения взвеси.

Скорость выпадения частицы в стоячей воде при температуре 10° С называют, как известно, гидравлической крупностью частицы. Величина частицы любой формы может быть условно выражена через теоретический (эквивалентный) диаметр. Эквивалентным диаметром называется диаметр такой шарообразной частицы, которая имеет ту же гидравлическую крупность, что и данная частица произвольной формы.

В стоячей воде на осаждающуюся частицу действуют следующие силы: F — сила тяжести частицы в воде; Φ — сила сопротивления жидкости; J — сила инерции.

Следовательно, уравнение движения осаждающейся частицы в самом общем виде

$$F - \Phi = J.$$

Сила тяжести частицы, погруженной в воду:

$$F = (\gamma - \gamma_0) W = (\rho - \rho_0) g W,$$

где γ и ρ — удельный вес и плотность частицы;
 γ_0 и ρ_0 — удельный вес и плотность воды;
 W — объем частицы.

Сила сопротивления жидкости Φ зависит от массы, размера и формы частицы, скорости ее выпадения и вязкости жидкости. В общем виде силу Φ можно представить так:

$$\Phi = \varphi \rho_0 u^2 d^2,$$

где φ — коэффициент сопротивления, зависящий от числа Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho_0 u d}{\mu};$$

u — скорость выпадения частицы;

d — эквивалентный диаметр частицы;
 μ — вязкость жидкости.
Сила инерции равна массе частицы, умноженной на ускорение, т. е.

$$J = (\rho - \rho_0) W \frac{du}{dt} .$$

Подставив значения всех сил в основное уравнение движения частицы, получим

$$(\rho - \rho_0) gW - \varphi \rho_0 u^2 d^2 = (\rho - \rho_0) W \frac{du}{dt} .$$

Скорость выпадения частицы весьма быстро приобретает постоянное значение, не изменяющееся во все время выпадения, поэтому ускорение du/dt будет равно нулю на большей части пути выпадения частицы. При $du/dt=0$ основное уравнение примет вид

$$(\rho - \rho_0) gW = \varphi \rho_0 u^2 d^2 .$$

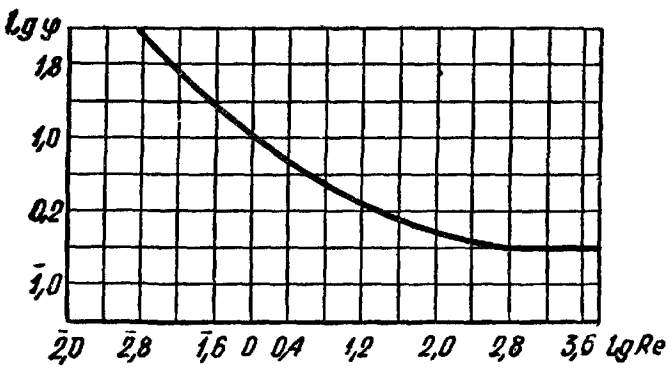


Рис. V.13

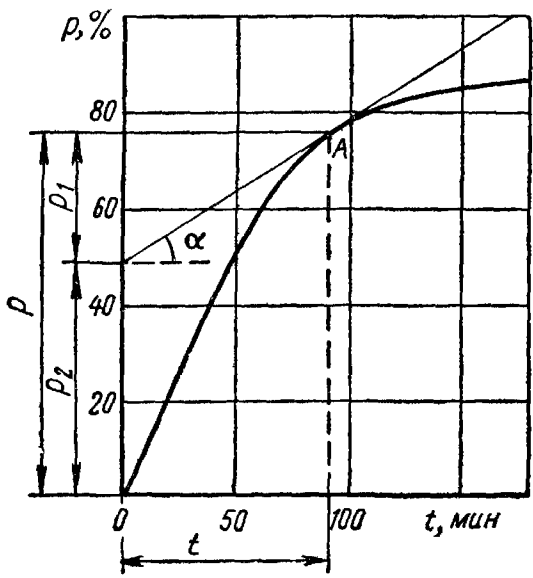


Рис. V.14

Определяя отсюда скорость выпадения u , получим

$$u = \sqrt{\frac{(\rho - \rho_0) gW}{\varphi \rho_0 d^2}} .$$

Для частицы произвольной формы, имеющей эквивалентный диаметр d :

$$W = \frac{\pi d^3}{6} .$$

Отсюда скорость выпадения равна:

$$u = \sqrt{\frac{\pi (\rho - \rho_0)}{6 \varphi \rho_0} g d} .$$

Характер зависимости коэффициента сопротивления φ от числа Re виден из графика на рис. V.13. Кривая построена по опытам проф. А. П. Зегжда для песка и гравия. Для частиц весьма малого размера имеет место линейный закон сопротивления (левый участок линии), т. е. сила сопротивления будет пропорциональна первой степени скорости выпадения частицы. Для этих условий Стоксом дано известное выражение силы сопротивления: $\Phi = 3\pi \mu u d$. Сравнивая эту форму-

лу с общим выражением силы сопротивления жидкости, получим выражение для коэффициента сопротивления при линейном законе

$$\Phi = \frac{3\pi\mu}{\rho_0 u d} = \frac{3\pi}{\text{Re}},$$

т. е. коэффициент Φ может быть выражен в функции числа Рейнольдса. Подставив это выражение Φ в полученную выше основную формулу для скорости выпадения, получим

$$u = \frac{g(\rho - \rho_0)}{18\mu} d^2,$$

т. е. получим известную формулу Стокса.

При увеличении диаметра осаждающихся частиц и скорости их выпадения, т. е. с увеличением числа Re (при $\text{Re} > 1$), как видно из рис. V.13, линейный закон сопротивления нарушается. При дальнейшем увеличении числа Re кривая $\Phi = f(\text{Re})$ постепенно переходит в прямую, параллельную оси абсцисс, т. е. значение Φ становится постоянным, не зависящим от Re . Таким образом, при больших значениях Re мы имеем дело с квадратичной областью сопротивления, когда сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости выпадения.

Следует отметить, что и в этой области коэффициент сопротивления будет зависеть от формы осаждающихся частиц.

При уменьшении температуры воды ее вязкость μ увеличивается, и поэтому скорость выпадения u будет меньше в холодной воде и большей в теплой (что легко видеть из полученной формулы).

Приведенные выражения для скорости выпадения могут быть практически использованы лишь для случаев монодисперсной взвеси, т. е. когда частицы, замутняющие воду, имеют одинаковые (или весьма мало колеблющиеся) размеры.

Так как обычно при осаждении как естественной, так и коагулированной взвеси приходится иметь дело с полидисперсной взвесью с большим диапазоном размеров частиц, характеристики осаждения такой взвеси получают эмпирическим путем.

Определяя в лаборатории количество p взвешенных веществ (в процентах от количества взвешенных веществ до отстаивания), выпавших из проб исследуемой воды через различные промежутки времени (например, через каждый час), получают кривую выпадения взвеси (рис. V.14).

Обычно кривые выпадения взвеси для воды природных источников обращены выпуклой стороной вверх. Это свидетельствует о замедлении процесса осветления с течением времени, что объясняется неоднородным составом взвеси. Более крупные частицы выпадают быстрее и осаждаются в начале процесса осветления воды. Чем более выгнута кривая выпадения, тем более неоднороден состав взвеси. Для монодисперсной взвеси эта кривая обратилась бы в прямую линию.

Кривая выпадения взвеси позволяет определить, какой процент взвеси осаждается в течение любого заданного промежутка времени. Она дает возможность также найти процентное содержание различных фракций взвеси с разной гидравлической крупностью частиц.

Проведем касательную к кривой выпадения взвеси в точке A с абсциссой t (см. рис. V.14). Тангенс угла наклона этой касательной к оси абсцисс равен dp/dt , т. е. представляет собой скорость накопления осадка в данный момент времени. Очевидно, что в каждый момент времени на дно выпадают частицы всех размеров, кроме частиц, которые уже успели выпасть ранее, т. е. кроме частиц с гидравлической крупно-

стью $u > h/t$ (где h — высота слоя воды). Таким образом, тангенс угла наклона касательной в точке A есть скорость накопления в осадке всех частиц полидисперсной взвеси, гидравлическая крупность которых $u < h/t$.

Полное количество p всех частиц, выпавших в осадок за промежуток времени от 0 до t , определяется ординатой точки A . Из этого количества на долю частиц с гидравлической крупностью $u < h/t$ приходится $p_1 = t \operatorname{tg} \alpha$, а на долю частиц с гидравлической крупностью $u > h/t$ приходится $p_2 = p - p_1$.

Таким образом, по кривой выпадения взвеси легко найти процентное содержание частиц с гидравлической крупностью $u > h/t$. Оно равно отрезку, отсекаемому на оси ординат касательной, проведенной в точке A , имеющей абсциссу t .

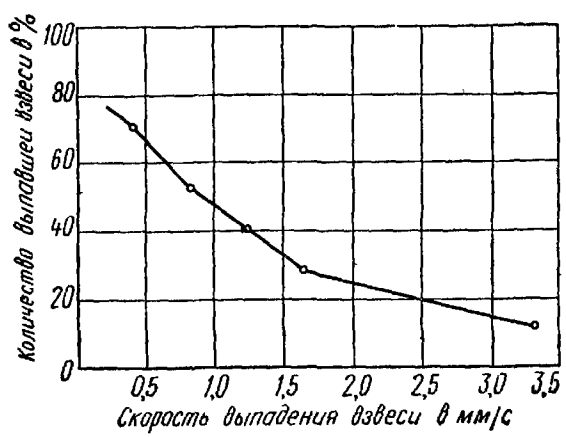


Рис. V 15

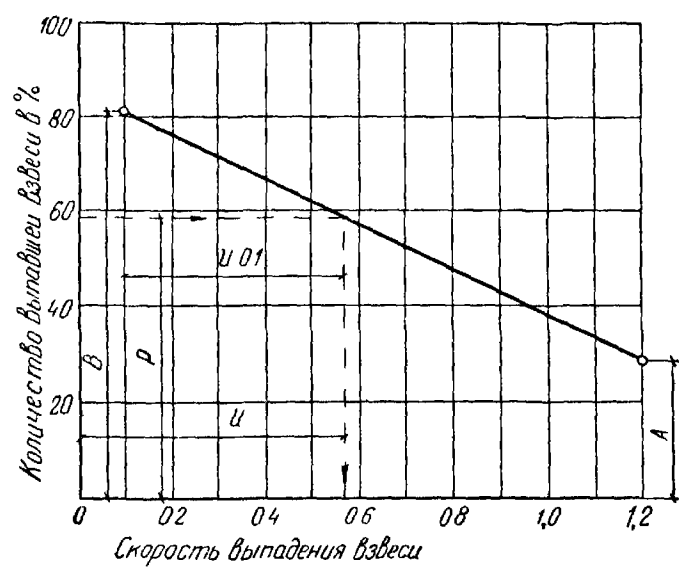


Рис. V.16

Кривые выпадения взвеси, полученные на основе специально поставленных экспериментов, позволяют обоснованно подойти к расчету отстойников при их проектировании. С помощью указанных кривых определяют расчетные скорости выпадения взвеси, при которых обеспечивается заданный эффект осветления воды, а также необходимое время пребывания воды в отстойниках.

Экспериментальные исследования, проводимые для получения кривых выпадения взвеси, относятся к технологическому анализу воды, упомянутому ранее.

Перенося результаты опытов по исследованию осаждения взвеси на реальные сооружения, очевидно, следует считать, что скорость выпадения взвеси данной крупности постоянна (если взвесь в процессе выпадения не агломерируется), и, следовательно, время ее осаждения будет пропорционально высоте слоя осветляемой воды. Таким образом, для частиц данной крупности будет иметь место соотношение

$$\frac{h_1}{t_1} = \frac{h_2}{t_2} = \dots = \frac{h_n}{t_n} ,$$

или

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{h_2}{h_1}$$

и т. д.

Для полидисперсной взвеси (как было показано) может быть определена скорость выпадения, соответствующая заданному проценту

задержания взвеси. С этой целью можно использовать метод, показанный на рис. V.14. Весьма удобно для этой цели строить кривые зависимости $u = h/t$ от p . При этом, чтобы исключить влияние высоты h опытного цилиндра, можно разделить ее на периоды времени t_i , для которых опытом был установлен определенный процент выпадения взвеси. Тогда получим величины, имеющие размерность скорости $u_1 = h/t_1$, $u_2 = h/t_2$ и т. д., соответствующие каждому данному проценту выпадения взвеси.

Зависимость между процентом выпавшей взвеси и соответствующей ему скоростью u может быть выражена графически (график на рис. V.15, построенный в данном случае для той же воды, для которой построен график на рис. V.14).

Такие графики, составленные на основании предварительных опытов с водой, подлежащей осветлению, используются при проектировании отстойников.

Все сказанное справедливо для полидисперсной, но агрегативно-устойчивой взвеси, т. е. такой взвеси, в которой размеры и форма частиц в процессе осаждения не изменяются. Между тем при коагулировании, широко используемом в современной практике осветления воды, имеет место процесс агломерации частиц взвеси — их слипание, изменение формы и размеров (укрупнение). Таким образом, в практике приходится весьма часто иметь дело с осаждением агрегативно-неустойчивой взвеси. Для такой взвеси линейная зависимость между величинами h и t уже не будет соблюдаться. Поэтому при переносе в натуру результатов лабораторных опытов с коагулированной взвесью приходится использовать соотношение вида

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^n, \quad (\text{V.1})$$

где n — показатель степени, учитывающий отклонение от линейной зависимости.

По опытам Академии коммунального хозяйства значение n колеблется в пределах 0,2—0,5 (большее для хорошо сформированных крупных хлопьев).

Согласно упомянутой методике проведения технологического анализа (ГОСТ 2919—45), выпадение взвеси из воды характеризуется осаждаемостью взвеси. За показатель осаждаемости S принимается (по предложению А. А. Кастальского) отношение количества взвеси A (в %), выпадающей со скоростью 12 мм/с, к количеству взвеси B , выпадающей со скоростью 0,1 мм/с (в этих пределах лежат величины скоростей выпадения, практически имеющие место в отстойниках), т. е. $S = A/B$. Так как в этом диапазоне скоростей кривая выпадения взвеси (рис. V.16) может быть принята за прямую, при помощи величин A и B могут быть получены скорости выпадения u , соответствующие требуемому проценту p задержания взвеси отстойником. Как видно из рис. V.16:

$$u = \frac{1,2B - 0,1A - 1,1p}{B - A}. \quad (\text{V.2})$$

В практике очистки воды осаждение взвеси осуществляется в специальных сооружениях — отстойниках.

Под отстаиванием в строгом смысле слова понимается осаждение взвеси из воды, находящейся в покое. Осуществление такого процесса («периодического отстаивания») в практике очистки воды крайне неудобно, так как требует периодического наполнения и опорожнения отстойных бассейнов. Поэтому применяют так называемое непрерывное отстаивание, при котором осветляемая вода непрерывно проходит с малыми скоростями через отстойники, в которых происходит осаждение взвеси.

В настоящее время применяют отстойники трех типов, различаемые по направлению движения воды в них: горизонтальные, вертикальные и радиальные.

§ 88. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ОТСТОЙНИКИ

Горизонтальный отстойник обычно представляет собой бассейн прямоугольной формы в плане (рис. V.17). Вода, подлежащая осветлению, подводится к одной из его торцовых стенок, проходит вдоль отстойника до противоположной торцовой стенки и там отводится. В отстойнике следует различать его рабочую часть 1, где происходит осаждение взвеси, — зону осаждения и нижнюю часть 2, где собирается выпавший осадок, — зону накопления и уплотнения осадка.

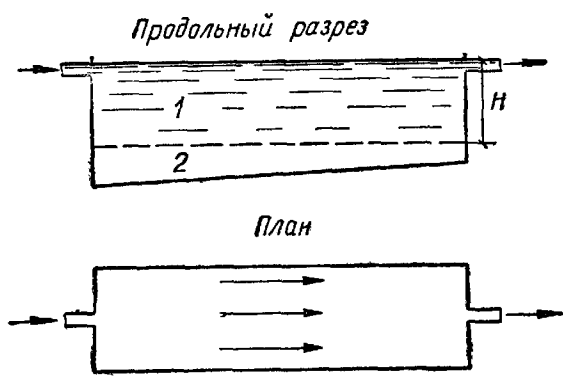


Рис. V.17

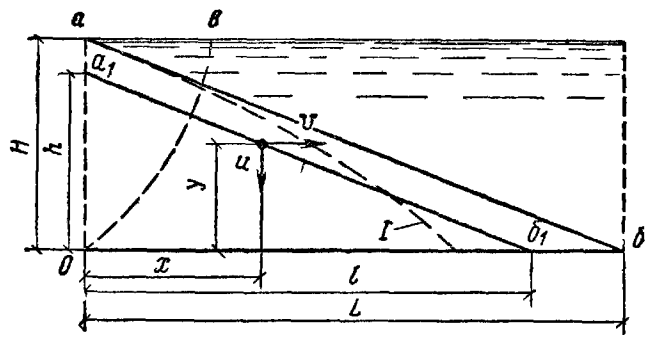


Рис. V 18

Рассмотрим характер движения воды и частиц взвеси в зоне осаждения горизонтального отстойника. Возьмем некоторую взвешенную в потоке частицу, положение которой определяется координатами x и y (рис. V.18). Уравнение траектории частицы в дифференциальной форме будет:

$$-\frac{dy}{dx} = \frac{u}{v},$$

где u — скорость выпадения частицы;
 v — скорость ее горизонтального перемещения с потоком.

Разделив переменные и проинтегрировав, получим $-yv = ux + C$; постоянную C находим из граничного условия $x=0$ при $y=h$. Тогда уравнение траектории частицы примет вид:

$$ux - (h - y)v = 0.$$

Если предположить в первом приближении, что величины u и v не являются функцией координат, то это уравнение будет представлено прямой a_1b_1 , отсекающей на осях координат отрезки h (при $x=0$) и $hv/u=l$ (при $y=0$). Отрезок l представляет собой расстояние от начальной точки отстойника до точки, где частица упадет на его дно. Траектории частиц, вошедших в отстойник на разной высоте (при принятых допущениях), будут представлены семейством параллельных прямых. Очевидно, что самый длинный путь совершит частица, вошедшая в отстойник в поверхностном слое воды (на высоте $h=H$, где H — глубина зоны осаждения отстойника). Эта частица выпадет на дно (выйдет из зоны осаждения) на расстоянии L от входа в отстойник (прямая ab). Таким образом, для задержания всех частиц, вошедших в отстойник, он должен иметь длину

$$L = \frac{v}{u} H.$$

Формула эта является весьма приближенной. Если скорость u для агрегативно-устойчивой взвеси можно считать постоянной, то скорость v будет различна в разных точках отстойника по его глубине и ширине. Если представить эпюру распределения скоростей v в отстойнике по глубине (см. рис. V.18) кривой Ob (характерной для каналов), то, очевидно, что траектория частицы не будет прямой линией, а примет форму кривой I . Кроме того, скорости поступательного движения воды будут распределяться неравномерно по ширине отстойника — скорости в отдельных точках его поперечных сечений (в плане) будут отличаться от расчетной средней величины v . Вследствие этого частицы, одновременно вошедшие в отстойник на одной высоте, будут выпадать на дно на разных расстояниях от входа.

При турбулентном режиме движения воды (который, как показано рядом исследователей, обычно имеет место в отстойниках) выпадение частиц будет тормозиться наличием вертикальных составляющих w . Поэтому действительная скорость выпадения взвеси в отстойнике будет $u_0 = u - w$, т. е. меньше, чем u ; следовательно, длина отстойника для задержания взвеси той же крупности будет больше, чем при определении ее по скорости u . На основании сказанного в приведенную выше формулу для определения длины отстойника вводят коэффициент $\alpha = u / (u - w)$, после чего формула получает такой вид:

$$L = \alpha \frac{vH}{u} \quad (V.3)$$

В основу расчета отстойника должна быть положена заданная степень осветления воды в нем, т. е.

$$p = \frac{C_{\text{макс}} - C_0}{C_{\text{макс}}} 100\%,$$

где $C_{\text{макс}}$ — наибольшее расчетное содержание взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойник (мг/л);

C_0 — допускаемое их содержание в отстоенной воде (мг/л).

При коагулировании осветляемой воды величина $C_{\text{макс}}$, очевидно, должна отражать не только содержание взвеси в природной воде, но и то количество взвеси, которое привносится в процессе коагулирования, а иногда и подщелачивания воды.

Значение $C_{\text{макс}}$ (мг/л) может быть определено по формуле

$$C_{\text{макс}} = M + kD_k + 0,25 Ц + B,$$

где M — наибольшее содержание взвеси в природной воде в мг/л;

k — коэффициент, зависящий от типа коагулянта (для очищенного сернокислого алюминия $k = 0,55$, для неочищенного сернокислого алюминия $k = 1$, для сернокислого и хлорного железа $k = 0,8$);

D_k — доза коагулянта в мг/л;

$Ц$ — цветность осветляемой воды в град;

B — содержание нерастворимых примесей, вводимых с известью при подщелачивании, в мг/л.

Величина C_0 для отстойников хозяйственно-питьевых водопроводов в соответствии с требованиями СНиП должна быть не более 8—12 мг/л.

Определив таким образом требуемый процент задержания взвеси отстойником, можно найти (по кривой выпадения взвеси, полученной в результате технологического анализа осветляемой воды) требуемую расчетную скорость выпадения взвеси. При этом удобно пользоваться формулой (V.2).

Для расчета отстойников, предназначенных для осаждения агрегативно-неустойчивой взвеси, также можно использовать кривые, подобные приведенной на рис. V.15. Они удобны тем, что дают соотношение между требуемым процентом задержания взвеси и расчетной скоростью выпадения взвеси. Однако при наличии такой взвеси по кривой получается фиктивная величина скорости выпадения:

$$u_0 = \frac{h}{t},$$

где h — принятая высота зоны осаждения отстойника;
 t — требуемое время осаждения в отстойнике, определяемое по формуле (V.1).

При отсутствии данных технологического анализа скорость u_0 для расчета отстойника может быть принята по табл. V.2, составленной на основании опыта работы отстойников при различных способах обработки воды.

Т а б л и ц а V.2

Характеристика обрабатываемой воды и способ ее обработки	u_0 , мм/с
Цветные воды с содержанием взвешенных веществ до 250 мг/л при обработке их коагулянтom	0,35—0,45
Мутные воды с содержанием взвешенных веществ более 250 мг/л при обработке их коагулянтom	0,5—0,6
Мутные воды, не обрабатываемые коагулянтom	0,12—0,15

Для определения длины отстойника необходимо иметь также численное значение коэффициента $\alpha = u/(u - w)$. Величина вертикальной составляющей w зависит от средней скорости потока v . На основании исследований А. А. Труфанова и П. И. Пискунова с достаточной степенью точности можно принимать $w = v/30$, т. е.

$$\alpha = \frac{u}{u - \frac{v}{30}}.$$

Из формулы (V.3) видно, что

$$v = \left(\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{L}{H} \right) u = Ku.$$

Величина K зависит в основном от соотношения L/H . Для горизонтальных водопроводных отстойников отношение L/H рекомендуется принимать в пределах от 10 до 25. Для этих значений величину K можно брать из табл. V.3.

Высоту зоны осаждения отстойника H принимают в зависимости от высотной схемы очистных сооружений в пределах от 2,5 до 3,5 м.

За основную исходную формулу для расчета горизонтальных отстойников может быть принята также формула площади отстойника в плане F .

Если умножить обе части формулы (V.3) на ширину отстойника B , то получим

$$F = BL = \frac{\alpha v H B}{u},$$

или, имея в виду, что площадь поперечного сечения отстойника $HV = Q/v$, получим:

$$F = \alpha \frac{Q}{v}.$$

Строительные нормы рекомендуют начинать расчет с определения площади отстойника в плане, после чего определять ширину отстойника $B = Q/(vH)$, а затем длину отстойника $L = F/B$.

Во всех приведенных формулах под Q понимается расчетный расход, приходящийся на один отстойник.

Нижняя часть отстойника — зона накопления и уплотнения осадка — должна быть рассчитана на прием осадка, выпадающего за период между чистками отстойника.

При значительном содержании взвешенных веществ в осветляемой воде целесообразна механизация удаления осадка из отстойника. Для механизированного удаления осадка могут применяться скребковые транспортеры, сгребающие осадок в приямок, из которого он удаляется насосом или выпускается под гидростатическим давлением. Удаление осадка (без выключения работы отстойника) может осуществляться также системой дырчатых труб, уложенных по его дну.

Объем зоны накопления осадка (в m^3) может быть определен по формуле

$$W_{з.н} = \frac{Q(C_{ср} - C_0)T}{1000\delta},$$

где Q — суточная производительность отстойника в m^3 ;
 $C_{ср}$ и C_0 — соответственно средняя (в период между выпусками осадка) расчетная мутность поступающей воды и заданная мутность отстойной воды в mg/l ;
 T — продолжительность периода между выпусками осадка в сутках;
 δ — расчетная концентрация уплотненного осадка в зоне накопления в g/l , принимаемая в зависимости от $C_{ср}$ (табл. V.4).

Таблица V.4

$C_{ср}$, mg/l	<100	100—400	400—1000	1000—2500
δ , g/l	30	30—50	50—70	70—90

Период накопления осадка между чистками T должен приниматься в соответствии с продолжительностью паводка, но не меньше одних суток (в последнем случае следует предусматривать устройство для механизированного удаления осадка).

В соответствии с характером выпадения взвеси наибольшая емкость нижней части отстойника обеспечивается в начале отстойника. Для этого дну его придается продольный уклон (обратный ходу воды) не менее 0,02.

Горизонтальные отстойники обычно оказываются экономически

оправданными при общей производительности станции более 30 тыс. м³/сутки.

Как правило, устраивают не менее двух параллельно работающих отстойников.

Конструкция отстойника должна обеспечивать возможно более равномерное распределение скоростей потока по его сечению и возможно более полное использование его объема. Для этого отстойники значительной ширины разделяют продольными перегородками на несколь-

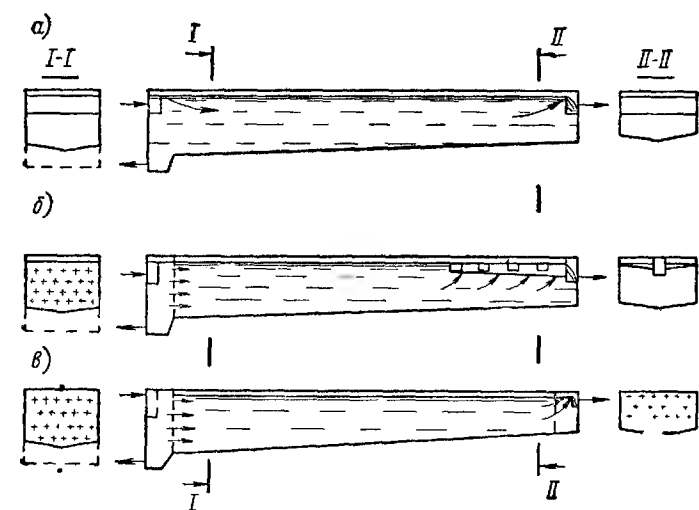
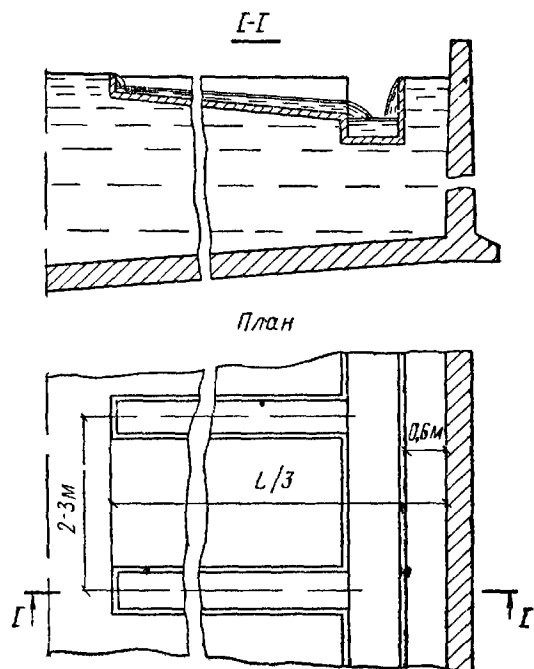


Рис. V.19

Рис. V.20



ко параллельных коридоров (ширина которых должна быть не более 9 м). Кроме того, в начале и конце отстойника предусматриваются устройства для обеспечения рассредоточенной подачи воды в отстойник и рассредоточенного отвода воды из него. Для этого используются поперечные водосливы в виде распределительных и сборных желобов (рис. V.19, а), дырчатые распределительные перегородки (рис. V.19, б) и дырчатые желоба (рис. V.19, в). На рис. V.20 показано устройство лотков для рассредоточенного сбора осветленной воды.

§ 89. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ОТСТОЙНИКИ

В вертикальных отстойниках осветляемая вода движется вертикально — снизу вверх. Отстойник (рис. V.21) представляет собой круглый (иногда квадратный) в плане бассейн 1 с центральной цилиндрической трубой 2 и конической (или пирамидальной) нижней частью 3. Центральная труба 2 — это встроенная в отстойник камера хлопьеобразования водоворотного типа. Вода подается в нее по трубе 4, проходит камеру сверху вниз и через гаситель 5 поступает в нижнюю часть зоны осаждения отстойника. Далее вода движется вверх и отводится через сборный желоб 6 и отводную трубу 7. Осадок скапливается в нижней конической части отстойника 3, откуда он периодически удаляется по трубе 8.

Осаждение взвеси происходит во время восходящего движения воды в отстойнике. Характер движения частиц взвеси зависит от скорости движения воды v и скорости выпадения частиц u (в неподвижной воде). В вертикальных отстойниках обе скорости направлены верти-

кально, но в противоположные стороны. Задерживаться отстойником будут частицы, имеющие скорость $u > v$. Теоретически предельной скоростью выпадения частиц, улавливаемых отстойником, будет скорость $u = v$.

При осаждении коагулированной взвеси (что всегда имеет место в вертикальных отстойниках) осаждающиеся частицы благодаря агломерации укрупняются и скорость их выпадения возрастает. Поэтому, приняв при расчете $u = v$, мы практически всегда будем иметь выпаде-

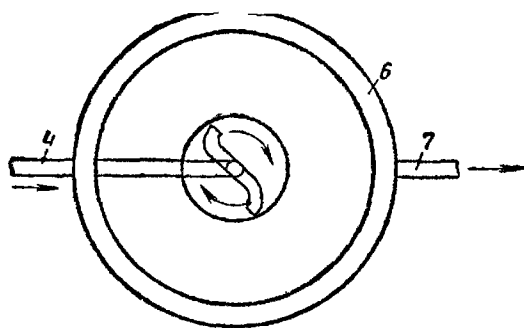
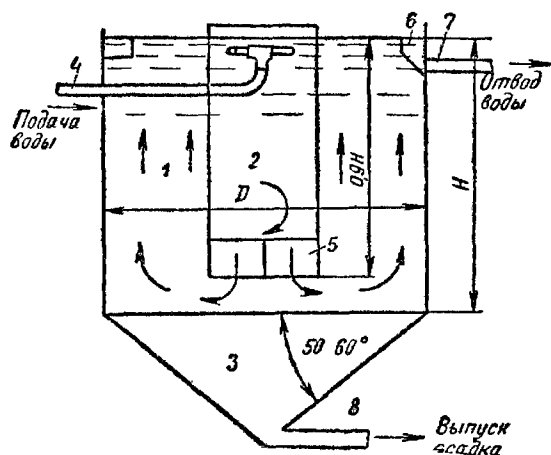


Рис. V.21

ние взвеси. Здесь v — средняя расчетная скорость движения воды в отстойнике, лежащая обычно в пределах 0,5—0,6 мм/с.

Площадь зоны осаждения отстойника ω может быть определена по формуле

$$\omega = \frac{Q}{v},$$

где Q — расчетный расход воды.

Высота зоны осаждения вертикальных отстойников H , так же как у горизонтальных отстойников, определяется в соответствии с высотной схемой сооружений. Обычно ее принимают в пределах 4—5 м. При этом рекомендуется принимать отношение D/H не более 1,5.

Чтобы обеспечить равномерность распределения скоростей движения воды по сечению отстойника (при диаметре его более 4 м), целесообразно для отвода воды кроме кольцевого периферийного желоба устраивать радиальные желоба.

Удаление осадка из вертикальных отстойников производится без выключения их из работы. Коническая (или пирамидальная) форма нижней части отстойника должна обеспечивать сползание осадка к отводной трубе. Для этого рекомендуется принимать угол $\alpha = 50 \dots 60^\circ$ (см. рис. V.21).

Зависимость между объемом зоны накопления осадка $W_{\text{зп}}$ и периодом времени накопления T определяется той же формулой, что и для горизонтальных отстойников.

В настоящее время использование вертикальных отстойников рекомендуется лишь для станций небольшой производительности — до 3 тыс. м³/сутки.

§ 90. РАДИАЛЬНЫЕ ОТСТОЙНИКИ

При увеличении отношения D/H в вертикальных цилиндрических отстойниках возрастают горизонтальные составляющие скорости движения воды из центральной трубы к кольцевому желобу и быстро па-

дает степень использования объема отстойника. Однако, изменив условия впуска воды в отстойник, можно и при большом отношении D/H получить относительно хорошее использование его объема.

Отстойники с отношением $D/H > 3,5$ имеют уже в основном радиальное направление движения воды и носят название радиальных отстойников (рис. V.22). По характеру движения воды они ближе к горизонтальным отстойникам.

Особенностью работы радиальных отстойников является изменение скорости движения воды от максимального значения в их центре до минимального значения у периферии.

К преимуществам радиальных отстойников относится их незначительная глубина (даже при больших производительностях).

В этих отстойниках вода подается в их центральную часть, проходит через специальные распределительные устройства 1 (в виде цилиндрического дырчатого успокоителя) и движется в радиальном направлении к периферийному сборному желобу 2, из которого отводится по

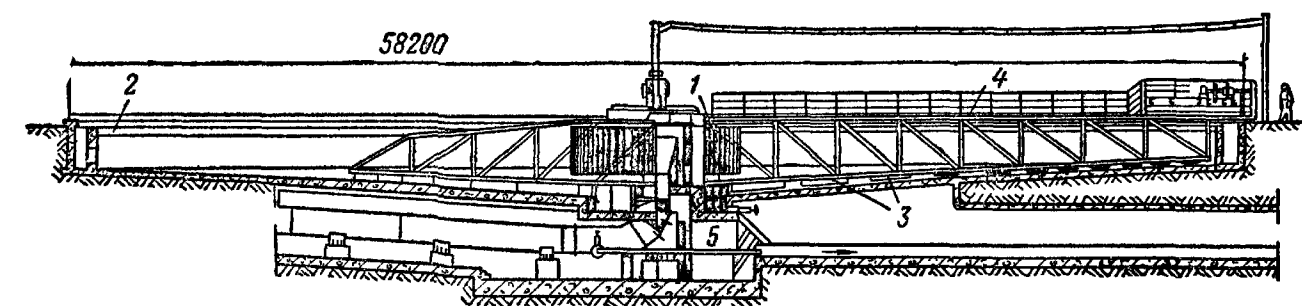


Рис. V.22

трубам. Осадок удаляется механически при помощи скребков 3, укрепленных на вращающейся ферме 4. Скребки сгребают осадок к приемку 5 в центре отстойника, откуда он удаляется по грязевой трубе.

Для приближенного расчета радиальных отстойников проф. В. А. Клячко предложил формулу

$$F = \alpha \frac{Q}{3,6 u_p} + f,$$

где F — площадь радиального отстойника в м^2 ;

$\alpha = \frac{u_p}{u_p - w}$ — коэффициент, учитывающий влияние вертикальной составляющей скорости потока [здесь u_p — расчетная скорость осаждения взвеси в мм/с , определяемая на расстоянии $r_{\text{ср}} = \frac{R - r_0}{2} + r_0$ от центра отстойника; R — радиус отстойника; r_0 — радиус зоны повышенной турбулентности (при входе воды в отстойник); w — среднее квадратичное значение вертикальной составляющей скорости потока в среднем сечении отстойника];

Q — расчетный расход в $\text{м}^3/\text{ч}$.

f — площадь центральной зоны, где вследствие большой турбулентности не происходит осаждения взвеси.

Радиальные отстойники устраивают диаметром 5—60 м и более. Глубину отстойника h у стенки обычно принимают в пределах 1,5—2,5 м. Тогда глубина в центральной части $H = h + iR$, где i — уклон дна отстойника, принимаемый равным 0,04.

В настоящее время радиальные отстойники получили применение

и для осветления мутных речных вод (без коагулирования или с коагулированием).

При значительном количестве осадка возможность непрерывного его удаления является большим достоинством радиальных отстойников.

§ 91. ГИДРОЦИКЛОНЫ

Из общей теории осаждения (§ 87) мы видели, что частицы взвеси выпадают из воды под действием силы тяжести $F = (\rho - \rho_0)gW$, где ρ и ρ_0 — плотности частицы взвеси и воды; g — ускорение свободного падения; W — объем частицы.

Во вращающемся объеме воды при значительной скорости вращения на частицу будут действовать большие центробежные силы, увлекающие ее в радиальном направлении от оси вращения. Центробежная сила равна $P = (\rho - \rho_0)jW$. Ускорение центробежной силы $j = v^2/R$, где v — линейная скорость частицы и R — ее радиус вращения. При достаточно быстром вращении и относительно небольших значениях R могут быть получены ускорения j , во много раз превышающие ускорение свободного падения g .

Таким образом, во вращающемся объеме жидкости будет иметь место быстрое перемещение частиц взвеси от центра вращения к периферии. На этом простом принципе основана работа гидроциклонов — аппаратов, получивших применение в практике осветления воды.

Гидроциклон (рис. V.23) представляет собой цилиндрический корпус 1 с вытянутым коническим днищем 2. Вода подается в корпус 1 через тангенциально расположенный патрубок 3. При вращении воды частицы взвеси отгоняются к цилиндрической стенке корпуса 1 и сползают по ней в конусное днище, из которого удаляются через выпуск 4. Осветленная вода отводится из центра корпуса 1 через патрубок 5. Производительность гидроциклона может быть определена по формуле

$$Q = 3600 \alpha \mu_r \omega \sqrt{2g\Delta H},$$

где Q — количество осветляемой воды в м³/ч;

α — коэффициент, учитывающий потери воды в осадке и равный 0,85—0,90;

μ_r — коэффициент расхода гидроциклона;

ω — площадь сечения подающего патрубка;

ΔH — потери напора в гидроциклоне.

Эффективность работы гидроциклона возрастает с увеличением скорости вращения воды (и, следовательно, расхода воды). Скорость эта (при заданной производительности) будет тем больше, чем меньше диаметр гидроциклона. При этом одновременно будут возрастать потери напора в гидроциклоне и расход энергии на подачу воды.

Для удаления тонкодисперсной взвеси оказывается рациональным применение гидроциклонов весьма малых диаметров (порядка 10—20 мм). Для возможности осветления заданных количеств воды при этом приходится использовать значительное число параллельно включенных гидроциклонов. В этом случае удобно применять специальные

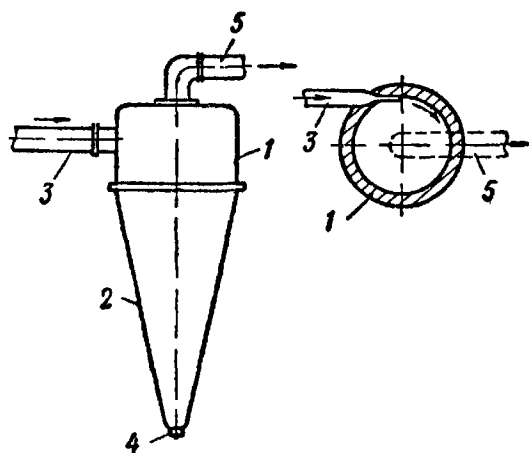


Рис V 23

аппараты — мультициклоны, представляющие собой конструктивное оформление в одном корпусе целой батареи из нескольких десятков малых гидроциклонов.

Глава 19

ОСВЕТЛЕНИЕ ВОДЫ ПРОПУСКОМ ЧЕРЕЗ СЛОЙ ВЗВЕШЕННОГО ОСАДКА

§ 92. ПРИНЦИП РАБОТЫ ОСВЕТИТЕЛЕЙ

Для предварительного осветления воды (перед подачей ее на фильтры) вместо отстойников в настоящее время широко используют так называемые осветлители со взвешенным осадком.

Этот метод осветления применим только при условии введения в воду коагулянта, т.е. при условии предварительной обработки воды, лишающей частицы взвеси агрегативной устойчивости.

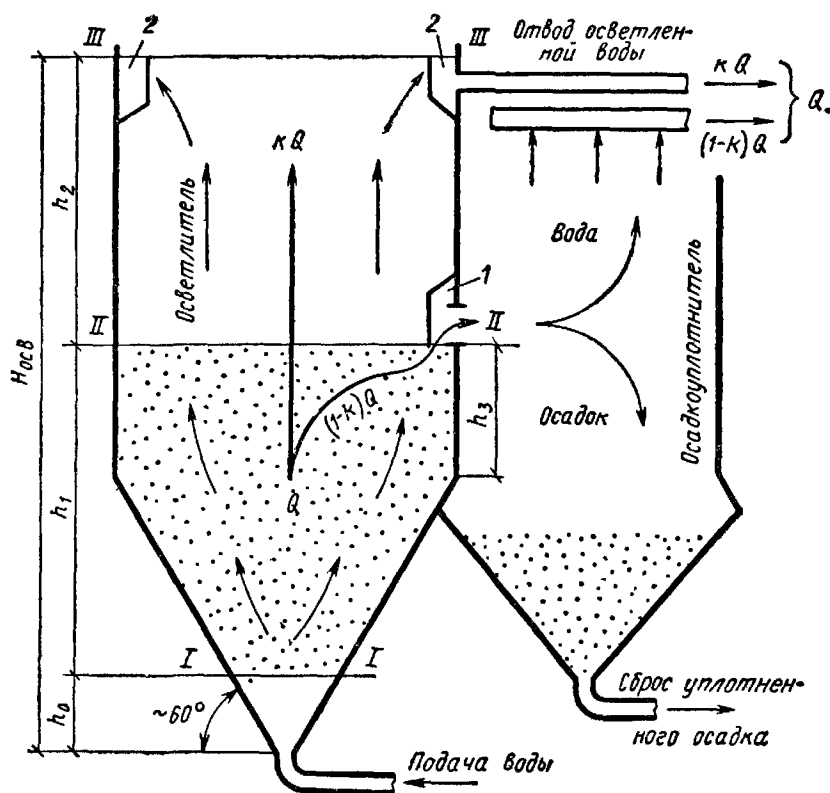


Рис. V.24

Принцип работы осветлителя со взвешенным осадком схематически показан на рис. V.24. Вода из смесителя (после введения в нее реагентов) подается в нижнюю часть осветлителя. В большинстве современных конструкций осветлителей их нижнюю часть устраивают постепенно расширяющейся кверху (т.е. конической или призматической). Благодаря этому скорость восходящего потока в пределах нижней части осветлителя постепенно уменьшается. Хлопья коагулянта и увлекаемые ими частицы взвеси поднимаются восходящим потоком воды до тех пор, пока их скорость выпадения не станет равной восходящей скорости потока. Допустим, что это будет иметь место на высоте h_0 над точкой ввода воды — на уровне I—I. Выше этого уровня по мере работы осветлителя образуется слой взвешенного

осадка, через который будет проходить и как бы фильтроваться осветляемая вода. Высота слоя h_1 зависит от требуемого эффекта осветления воды. Эта высота обеспечивается расположением устройства 1 для отбора осадка на определенном уровне II—II. Осадок удаляется в осадкоуплотнитель. Вода, прошедшая такой своеобразный «взвешенный фильтр», продолжает восходящее движение до уровня III—III, где расположены устройства 2 для ее сбора и отвода. Высота h_2 слоя воды над слоем взвешенного осадка должна обеспечить задержание частиц мути, проскочивших через взвешенный осадок, и защитить поверхность взвешенного осадка от подсоса взвеси устройствами 2 (желобами, перфорированными трубами) для сбора осветленной воды. Подобный подсос возможен вследствие образования местных потоков воды вблизи указанных устройств.

В слое взвешенного осадка происходит процесс прилипания частиц взвеси к образовавшимся в воде хлопьям коагулянта, т. е. своеобразный процесс контактной коагуляции. В этом слое имеет место так называемое стесненное осаждение хлопьев и частиц мути; скорость выпадения частиц в условиях стесненного осаждения всегда меньше, чем при их свободном осаждении; скорость восходящего движения воды в пределах этого слоя в каждый момент работы осветлителя равна скорости выпадения хлопьев. При увеличении концентрации вещества в слое взвешенного осадка изменяется (уменьшается) скорость выпадения частиц. Поэтому слой взвешенного осадка обладает известной устойчивостью.

Если скорость восходящего движения v_0 будет превышать скорость выпадения частиц u_0 при данной концентрации взвеси, то эта концентрация уменьшится и может быть нарушен баланс поступления взвеси в осветлитель и удаления ее избытка в осадкоуплотнитель. В результате этого произойдет подъем слоя взвешенного осадка и вынос взвеси из осветлителя.

Для надлежащего эффекта осветления необходимо, очевидно, правильно назначить высоту взвешенного слоя h_1 и скорость восходящего движения воды. Эти величины для заданной степени осветления будут зависеть от качества природной воды и методов ее химической обработки.

Идея метода осветления воды пропуском ее через слой взвешенного осадка впервые выдвинута проф. С. Х. Азерьером в результате его исследований работы вертикальных отстойников.

Большие и ценные исследования в области разработки методов расчета и создания конструкций осветлителей приведены проф. Е. Ф. Кургаевым и канд. техн. наук Е. Н. Тетеркиным.

Осветлители со слоем взвешенного осадка в настоящее время широко используются для осветления мутных вод, при обесцвечивании, а также при реагентном умягчении воды (см. главу 23).

Осветлители работают эффективно при условии относительно незначительных колебаний часового расхода подаваемой воды (не более $\pm 10\%$ в течение часа) и незначительных колебаний ее температуры (не более 1° в течение 1 ч).

§ 93. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ ОСВЕТИТЕЛЕЙ

Типы осветлителей, созданных и применяемых в СССР и за рубежом, весьма разнообразны.

Основными признаками, отличающими отдельные типы осветлителей, используемых в отечественной практике, являются: а) форма

рабочей камеры осветлителя; б) наличие или отсутствие дырчатого днища под слоем взвешенного осадка; в) метод удаления избыточного осадка из рабочей камеры; г) конструкция и место расположения осадкоуплотнителей.

Осветлители бывают круглой или прямоугольной формы в плане. Нижняя часть большинства осветлителей имеет форму конуса, пирамиды или призмы (т.е. с переменным поперечным сечением рабочей части) с уклоном стенок к горизонту около 60° .

Некоторые осветлители имеют почти плоское дно (с весьма малым углом конусности) и постоянную площадь поперечного сечения рабочей части — по ходу воды. В таких осветлителях обычно устраивают второе дырчатое днище, непосредственно над которым образуется слой взвешенного осадка. Опыт использования осветлителей этого типа показал их существенные эксплуатационные недостатки (см. далее).

Поддержание требуемой высоты слоя взвешенного осадка в боль-

шинстве современных конструкций осветлителей достигается так называемым принудительным отсосом (отбором) осадка. Методы отсоса показаны далее на отдельных примерах осветлителей.

Наконец, осадкоуплотнители устраивают встроенными в осветлитель или вне его (выносными), располагают их в середине осветлителя или под его дном.

Следует отметить, что наличие в воде, подаваемой на осветлитель, пузырьков воздуха может нарушить нормальную работу слоя взвешенного осадка. Поэтому обычно предусматривают удаление воздуха из воды до ее поступления в осветлитель.

Рассмотрим некоторые современные конструкции осветлителей.

На рис. V.25 показана конструкция прямоугольного осветлителя коридорного типа, разработанная институтом Союзводоканалпроект. Рабо-

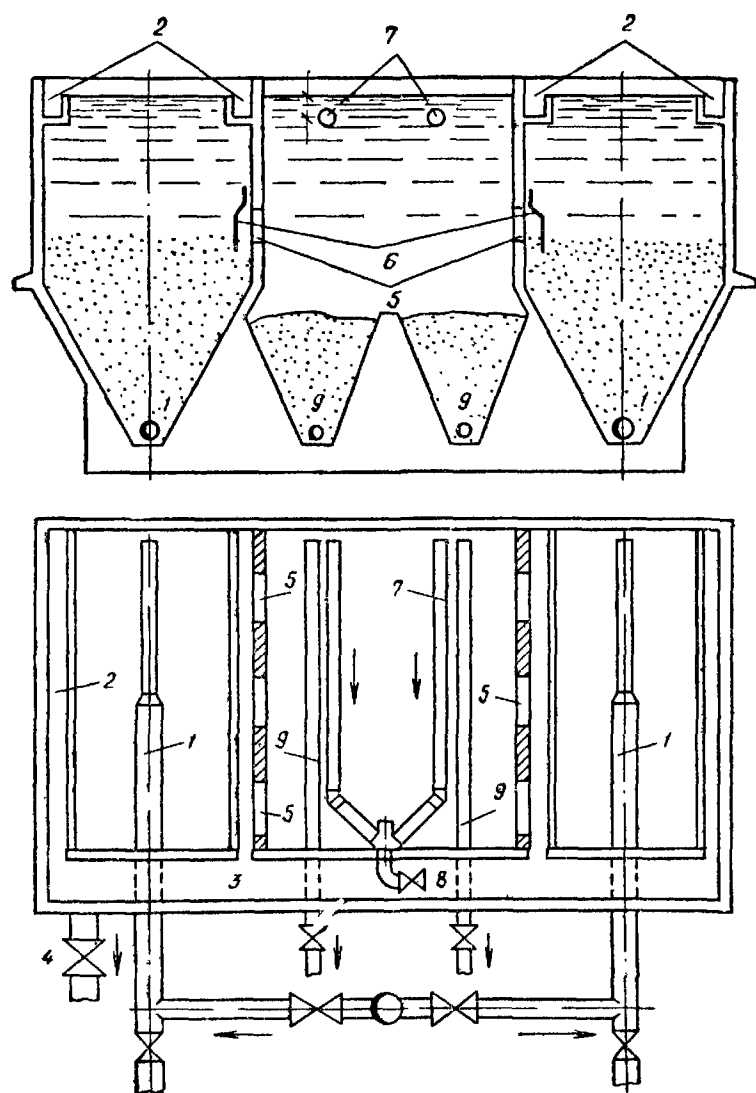


Рис. V.25

чая камера состоит из двух отделений, в нижнюю призматическую часть которых по трубам 1 подается осветляемая вода. Осветленная вода отводится желобами 2 в сборный лоток 3 и далее по отводящей трубе 4. Камера для сбора и уплотнения осадка расположена в середине, между двумя отделениями осветлителей. Осадок из взвешенного

слоя поступает в осадкоуплотнитель через окна 5, прикрытые козырьками 6, препятствующими поступлению в окна осветленной воды. Для принудительного отсоса осадка через окна осуществляется отбор воды из осадкоуплотнителя по трубам 7 в тот же сборный желоб 3. При помощи задвижки 8 можно обеспечить такой отбор воды, чтобы уровень

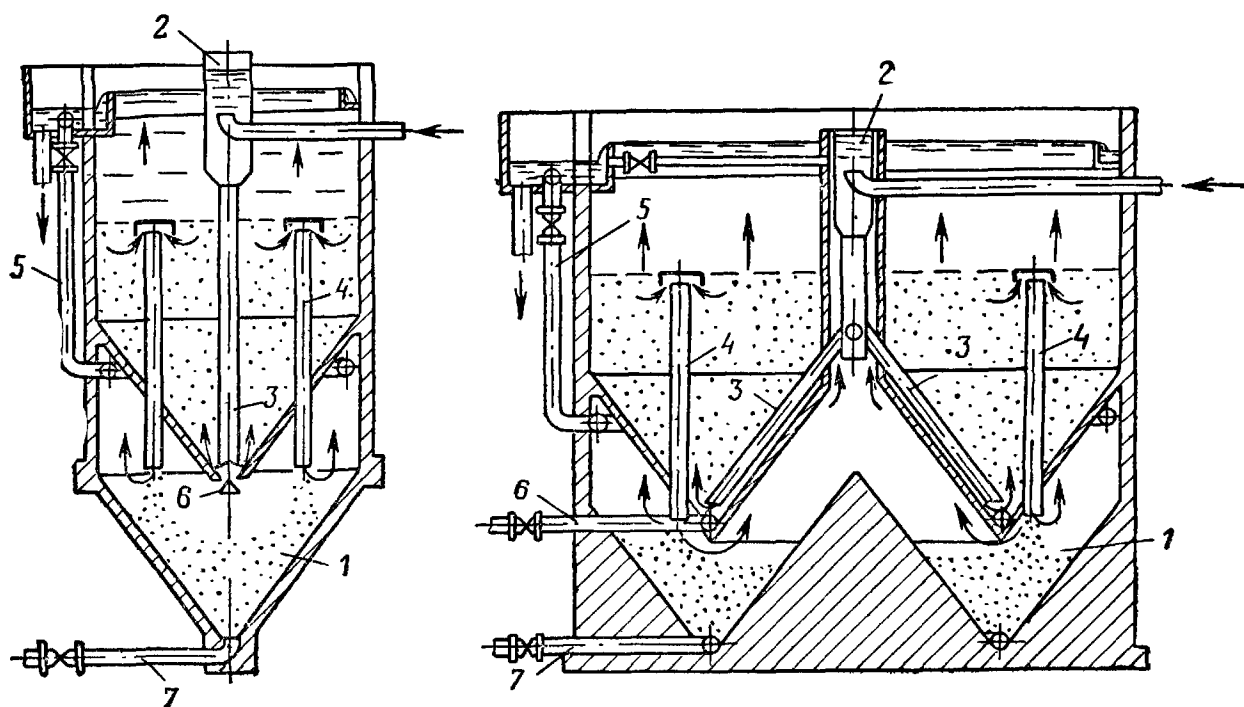


Рис. V.26

ее в осадкоуплотнителе был несколько ниже, чем в отделениях рабочей камеры. Эта разность уровней и будет обеспечивать постоянный (принудительный) отбор осадка через окна 5. Уплотненный осадок выпускается по дырчатым трубам 9.

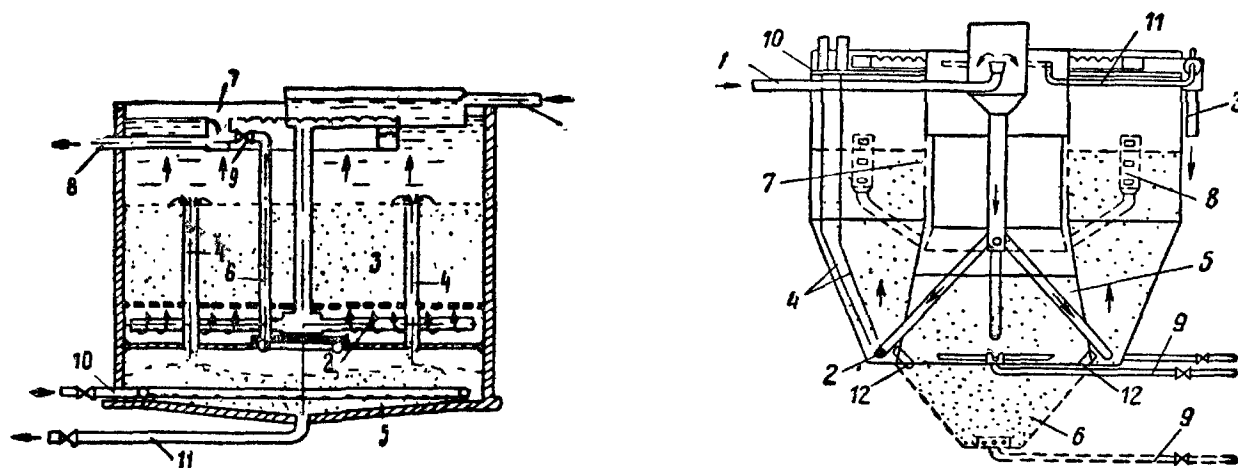


Рис. V.27

Рис. V.28

На рис. V.26 показаны осветлители конструкции ВНИИ ВОДГЕО. Вертикальный осадкоуплотнитель 1 расположен под днищем рабочих камер осветлителя. Вода подается через воздухоотделитель 2 и по трубам 3 поступает в нижнюю часть рабочих камер. Осадок по трубам 4 поступает в поддонный осадкоуплотнитель.

Для осуществления принудительного отсоса осадка из осадкоуплотнителя отбирается вода по трубе 5. Сброс осадка происходит по трубам 6 и 7.

На рис. V.27 показано устройство осветлителя, разработанного ВНИИГСом (Н. И. Колотовым), с поддонным осадкоуплотнителем и дырчатым днищем. Вода с введенным в нее реагентом по трубе 1 подается в лоток (служащий воздухоотделителем), а из него по вертикальной трубе поступает через распределительный цилиндр в распределительные дырчатые трубы 2. Через отверстия в этих трубах вода посту-

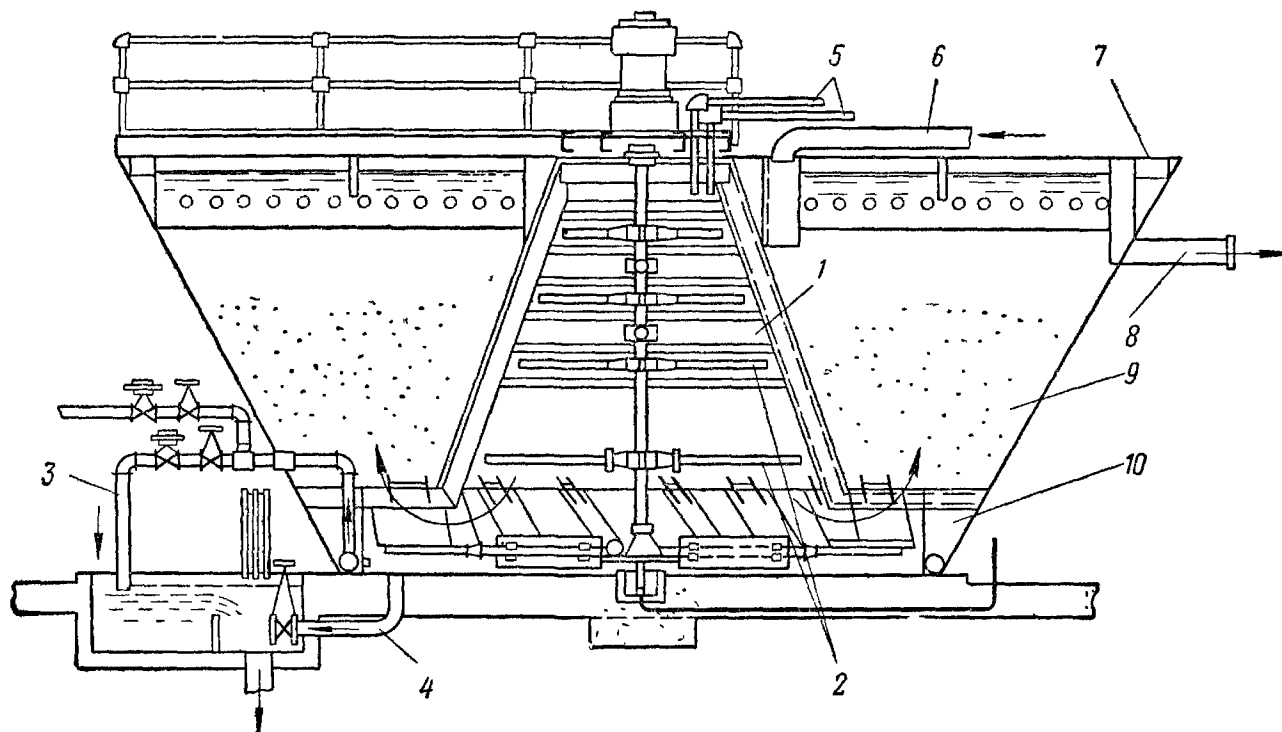


Рис. V.29

1 — механическая камера хлопьеобразования; 2 — мешалки; 3 — автоматическое удаление ила; 4 — дренажи; 5 — трубки для подачи реагентов; 6 — труба для подачи воды; 7 — отводящий желоб; 8 — труба для отвода воды; 9 — зона взвешенного осадка; 10 — осадкоуплотнитель

пает в пространство, ограниченное снизу сплошным днищем и сверху дырчатым днищем. Высота слоя взвешенного осадка 3 обуславливается высотой расположения осадкоотводящих труб 4, через которые избыток осадка поступает в поддонный осадкоуплотнитель 5. В верхней центральной части осадкоуплотнителя располагается дырчатая кольцевая труба, присоединенная стояком 6 к кольцевому желобу 7. Отсюда осветленная вода отводится по трубе 8. На трубе 6 устанавливается задвижка 9 для регулирования отвода воды. Разность уровней воды в рабочей зоне осветлителя и в кольцевом сборном желобе обуславливает отсос воды из верхней части уплотнителя и, следовательно, принудительный отсос осадка в уплотнитель через трубы 4. Для смыва осадка из осадкоуплотнителя подается вода по дырчатым трубам 10; осадок удаляется по трубе 11.

Этот осветлитель в настоящее время используется на станциях большой производительности при осветлении маломутных цветных вод.

Опыт эксплуатации показывает, что при значительной мутности осветляемых вод в результате засорения осадком отверстий дырчатого днища образуется скопление осадка и это препятствует нормальной работе осветлителей.

На рис. V.28 показана конструкция осветлителя (типа ЦНИИ-3), предложенная Е. Ф. Кургаевым. Осветляемая вода подается по трубе 1

и поступает в нижнюю зону осветлителя через трубы 2, снабженные соплами, сообщаями воде вращательное движение в горизонтальной плоскости. Сбор осветленной воды осуществляется системой желобов или перфорированных труб; осветленная вода отводится по трубе 3. Реагенты подаются по трубкам 4 в нижнюю зону осветлителя. Осадок собирается в осадкоуплотнителе 5, имеющем внизу дополнительный бункер 6. Избыточная взвесь из взвешенного слоя отводится через окна 7.

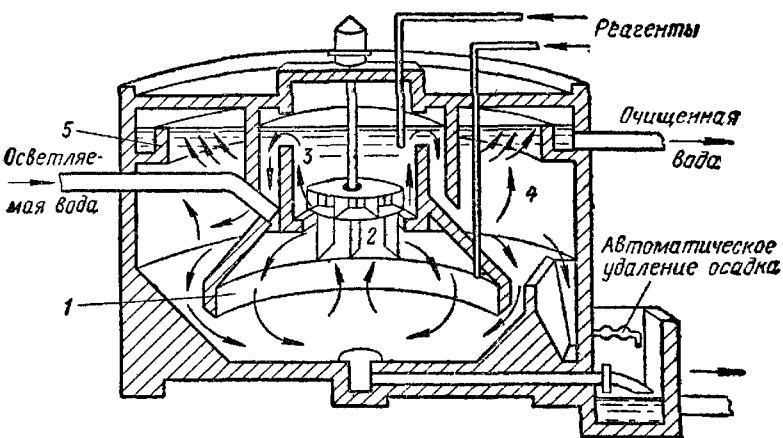
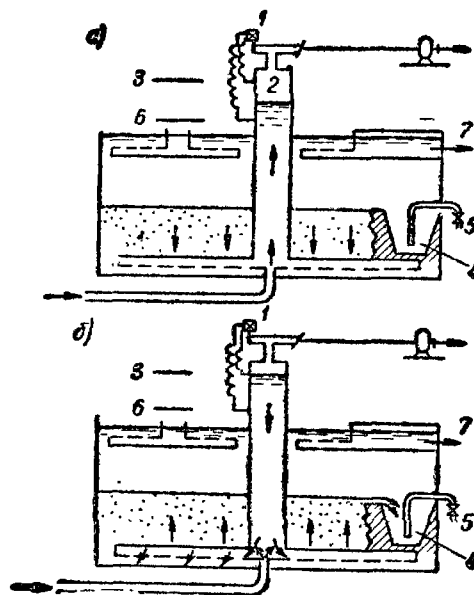


Рис. V.30

Рис. V.31



При больших диаметрах осветлителя (более 7 м) применяют дополнительные устройства 8 для отвода взвеси. Из осадкоуплотнителя осадок удаляется по трубе 9. На рисунке показаны также дренажная решетка 10, трубы для отсоса осветленной воды из осадкоуплотнителя 11, донные клапаны осадкоуплотнителя 12.

Осветлители этого типа нашли широкое применение в установках для осветления и реагентного умягчения воды теплоэнергетических станций.

Различные типы осветлителей используются в зарубежных странах.

Так, в США широко применяются осветлители двух типов. Осветлитель первого типа (пресипитатор — рис. V.29) по принципу своего действия и устройству близок к осветлителям наших типов. Вода подается в механическую камеру хлопьеобразования, откуда поступает в рабочую камеру осветлителя, проходит через слой взвешенного осадка и отводится сборными желобами в отводящую трубу. В осветлителе второго типа (акселейтор, рис. V.30) вода подается в первичную камеру смешения 1, туда же подаются и реагенты. При помощи специального механического приспособления 2 производится перемешивание воды в этой камере. Из камеры 1 вода вместе с хлопьями коагулянта переходит во вторичную камеру смешения 3 и затем в камеру осветления 4. Здесь вода проходит через слой взвешенного осадка и отводится в верхней части резервуара при помощи периферийного желоба 5. В этом сооружении происходит рециркуляция осадка, т.е. обратное поступление осадка из камеры осветления в камеру смешения.

Оба типа применяемых в США осветлителей имеют механические приспособления для перемешивания воды, что несколько осложняет условия их эксплуатации.

Во Франции разработан (обществом Дегремон) и применен на

многих станциях очистки воды в разных странах осветлитель-пульсатор с прерывистым действием. В нем чередуются два периода работы. Вначале (рис. V.31, а) воздушный клапан 1 закрыт, вода в колпаке 2 поднимается, вода в осветлителе неподвижна и из нее выпадает осадок. Когда поверхность воды в колпаке 2 достигнет уровня 3, клапан 1 автоматически открывается, вода из колпака 2 устремляется через дренажные трубы в осветлитель снизу; слой осадка поднимается и его избыток поступает в сгуститель 4, откуда удаляется через трубу 5 (рис. V.31, б). Когда поверхность воды в колпаке 2 опустится до уровня 6, воздушный клапан 1 закрывается, и процесс повторяется. Осветленная вода удаляется по каналу 7. По утверждению авторов при таком характере работы осветлителя эффект осветления увеличивается. В результате опыта эксплуатации этих осветлителей специалисты не пришли к единому мнению об их особых преимуществах.

§ 94. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЕЙ

При расчете осветлителя заданными являются количество и качество исходной воды и требуемый эффект осветления.

К основным величинам, обеспечивающим требуемый эффект работы осветлителя, относятся высота взвешенного слоя и скорость восходящего движения воды в этом слое.

Теории процесса осветления во взвешенном слое и устойчивости этого слоя разработаны Е. Н. Тетеркиным и Е. Ф. Кургаевым¹. Эти исследователи дали освещение механизма осветления во взвешенном слое. Однако процессы, происходящие во взвешенном слое, крайне сложны. Взвешенный слой представляет собой полидисперсную массу, частицы которой находятся в хаотическом движении в восходящем потоке жидкости. Это затрудняет нахождение прямых численных соотношений между характеристиками требуемого эффекта осветления и основными параметрами взвешенного слоя. Поэтому при расчете осветлителей (в еще большей мере, чем при расчете других осветлительных сооружений) необходимо проведение специальных технологических анализов (технологического моделирования), т. е. экспериментального осветления воды данного качества на моделях осветлителей.

Опыт эксплуатации действующих осветлителей позволил установить пределы значений основных расчетных параметров, обеспечивающих хороший эффект осветления воды определенного качества. Эти рекомендуемые опытом пределы расчетных величин в настоящее время кладутся в основу проектирования осветлителей.

Строительные нормы и правила (СНиП II-Г.3-62), обобщая опыт эксплуатации осветлителей, рекомендуют принимать расчетные значения скорости восходящего движения в зоне осветления над слоем взвешенного осадка в зависимости от содержания взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель (табл. V.5). Приведенные в таблице скорости относятся к случаю обработки воды сернокислым алюминием, при использовании хлорного железа или сернокислого железа и известны рекомендуемые таблицей скорости можно увеличить на 10%.

Следует иметь в виду, что расчетное значение скорости надо принимать для периода наименьшего содержания взвешенных веществ в поступающей воде (так как при этом будет иметь место наименьшая плот-

¹ См. А. А. Кастальский, Д. М. Минц. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения М., «Высшая школа», 1962, Е. Ф. Кургаев. Основы теории и расчета осветлителей М., Госстройиздат, 1962.

Таблица V5

Содержание взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель, в мг/л	Скорость восходящего движения воды v_0 в мм/с		Коэффициент распределения k
	в зимний период	в летний период	
10—100	0,7—0,8	0,9—1	0,8—0,75
100—400	0,8—1	1—1,1	0,75—0,7
400—1000	1—1,1	1,1—1,2	0,7—0,65
1000—2500	1—1,2	1,1—1,2	0,65—0,6

ность осадка во взвешенном слое и, следовательно, наибольшая опасность его разрушения скоростями восходящего потока).

Как было сказано ранее, большинство наших современных систем осветлителей предусматривает принудительный отсос осадка из верхней части взвешенного слоя. Это осуществляется отбором воды из осадкоуплотнителя.

Через взвешенный слой (см. рис. V.24) движется полное расчетное количество осветляемой воды Q ; у верхней границы взвешенного слоя часть воды отделяется и уходит через окна в осадкоуплотнитель. Если часть воды, продолжающая восходящее движение в осветлителе (через так называемую зону осветления), равна kQ , то часть, уходящая в осадкоуплотнитель, будет равна $(1-k)Q$. Величину k называют коэффициентом распределения. Эта величина, назначаемая в зависимости от качества осветляемой воды, должна обеспечить удовлетворительный отсос осадка. При расчете осветлителей расчетные значения k следует принимать (в отличие от расчетного значения скорости) по наибольшей возможной мутности воды, когда количество отбираемого осадка будет максимальным. Рекомендуемые значения k также даны в табл. V.5.

Площадь поперечного сечения осветлителя в зоне осветления обычно принимают равной наибольшей его площади в зоне взвешенного слоя. Тогда, очевидно, скорость движения воды во взвешенном слое v (отнесенная к верхнему сечению) и в зоне осветления v_0 будет различна, и $v_0 = kv$. В нижней, конической части осветлителя скорость в различных поперечных сечениях также различна и достигает значения v в верхнем сечении. В табл. V.5 условно даны скорости v_0 , т. е. скорости, относящиеся к зоне осветления (с учетом принятого коэффициента k).

По расчетному расходу воды Q и расчетной скорости v_0 , принятой в соответствии с качеством осветляемой воды (согласно табл. V.5), может быть определена требуемая площадь поперечного сечения зоны осветления:

$$\omega_0 = \frac{kQ}{v_0}.$$

Площадь поперечного сечения (в плане) осадкоуплотнителя определяют как по условиям его гидравлической работы, так и по емкости, требуемой для приема осадка.

Исходя из количества осветляемой воды, поступающей через окна из осветлителя и подаваемой через верхнюю часть осадкоуплотнителя, площадь поперечного сечения осадкоуплотнителя должна быть равна:

$$\omega_{0y} = \frac{(1-k)Q}{v_0}.$$

Сумма площадей $\omega_0 + \omega_{0y}$ дает общую расчетную площадь Ω соору-

жения в плане. При назначении числа осветлителей по заданной общей производительности станций следует иметь в виду, что наибольшую общую площадь одного осветлителя обычно принимают не более 100—150 м². Однако в настоящее время у нас успешно работают осветлители и значительно большей площади.

Высоту слоя взвешенного осадка h_1 на основании опыта эксплуатации осветлителей рекомендуется принимать в пределах от 2 до 2,5 м. Высота h_1 отмеряется от нижнего уровня слоя взвешенного осадка $l—I$ до уровня нижней кромки окон, отводящих осадок (см. рис. V.24). Нижний уровень взвешенного слоя характеризуется равенством скорости восходящего движения воды и скорости выпадения хлопьев осадка (в условиях стесненного осаждения). Строительные нормы рекомендуют принимать эту скорость равной 2 мм/с. Высота h_0 нижней зоны конической части осветлителя (см. рис. V.24), где скорости движения воды превышают скорости выпадения хлопьев осадка, составляет обычно 0,5—1 м.

Высоту зоны осветления h_2 рекомендуется принимать в пределах от 1,5 до 2 м.

Меньшие значения h_1 и h_2 принимают в установках для осветления мутных вод, большие — в установках для обесцвечивания воды.

Таким образом, общая высота осветлителя будет $H_{осв}=h_0+h_1+h_2$.

Площадь окон для отвода осадка рассчитывают по количеству воды $(1-k) Q$ и скорости ее прохождения через них (от 10 до 15 мм/с).

При использовании осадкоотводных труб в осветлителях с поддонным осадкоуплотнителем (см. например, рис. V.27) их диаметр определяют по тому же расходу воды и скорости 40—60 мм/с; верхний предел скорости — для случая тяжелых хлопьев после реагентного умягчения воды.

Нижняя кромка окон или входных отверстий осадкоотводных труб располагается на высоте $h_3=1,5—1,75$ м выше перехода стенок осветлителя из наклонных в вертикальные (для осветлителей с конической, пирамидальной или призматической нижней частью).

Объем зоны уплотнения осадка $W_{з.у}$, т. е. той части осадкоуплотнителя, которая находится ниже уровня нижней кромки осадкоотводных окон, определяют в зависимости от количества задерживаемого осадка и времени его уплотнения

$$W_{з.у} = \frac{Q (C_{макс} - C_0)}{1000 \delta_{ср}} T,$$

где $C_{макс}$ — расчетное максимальное количество в мг/л взвешенных веществ, содержащихся в воде, включая и привносимые при ее обработке реагентами.

Время уплотнения осадка T рекомендуется принимать в пределах от 3 до 12 ч (нижний предел для вод мутностью более 40 мг/л и верхний предел при осветлении вод меньшей мутности и при обесцвечивании воды).

Таблица V.6

Наибольшее содержание взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель, в мг/л	Средняя концентрация осадка $\delta_{ср}$ в г/л (кг/м ³) после уплотнения в течение периода T в ч				
	3	4	6	8	12
До 100	6,5	7,5	8	8,5	9,5
100—400	19	21,5	24	25	27
400—1000	24	25	27	29	31
Более 1000	29	31	33	35	37

Средняя концентрация осадка $\delta_{\text{ср}}$ при различных периодах его уплотнения T и при различном качестве воды, поступающей в осветлитель, приводится в табл. V.6.

Для обеспечения сползания осадка обычно стенки нижней зоны осадкоуплотнителя устраивают наклонными под углом $50\text{--}60^\circ$ к горизонту.

СНиП II-Г.3-62 дают рекомендации по определению размеров всех подводящих, распределительных и отводящих устройств для воды и осадка (труб, желобов и т. п.), которыми оборудуются осветлители.

Глава 20

ФИЛЬТРОВАНИЕ ВОДЫ

§ 95. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ФИЛЬТРОВАНИИ ВОДЫ

Фильтрацией называется процесс прохождения осветляемой воды через слой фильтрующего материала. Фильтрация, так же как и отстаивание, применяют для осветления воды, т. е. для задержания находящихся в воде взвешенных веществ. Фильтрующий материал должен представлять собой пористую среду с весьма малыми порами. В водопроводной практике в качестве основного фильтрующего материала применяют песок.

Фильтр представляет собой резервуар, в нижней части которого расположено дренажное устройство той или иной конструкции для отвода профильтрованной воды. На дренаж обычно укладывают слой поддерживающего материала и затем слой собственно фильтрующего материала. При песчаных фильтрах поддерживающим материалом является гравий, уложенный слоями с возрастающей книзу крупностью зерен. В процессе фильтрации фильтр постоянно заполнен водой до уровня, расположенного не менее чем на 2 м выше поверхности фильтрующего материала. В обычных фильтрах вода подается сверху и отводится снизу — через дренажное устройство.

Производительность фильтра определяется скоростью фильтрации. Под скоростью фильтрации следует понимать не скорость движения воды в порах, а скорость вертикального движения воды над фильтрующим слоем. Скорость фильтрации определяют из соотношения

$$v = \frac{Q}{\omega},$$

где Q — количество воды, проходящей через фильтр в единицу времени; ω — площадь фильтра.

В большинстве случаев фильтрацию сочетают с другими методами очистки воды. Так, на станциях городских водопроводов фильтры обычно используют для обработки воды, прошедшей (после коагулирования) отстаивания или осветлители. Фильтры применяют также для осветления воды при ее реагентном умягчении и обезжелезивании. В некоторых случаях фильтры используют для осветления природной некоагулированной воды, а также коагулированной воды без предварительного отстаивания¹.

¹ Особенности принципов работы и конструкции фильтров специальных типов даются в § 108 и 110.

По характеру механизма задержания взвешенных частиц можно различать два основных вида фильтрования:

а) фильтрование через фильтрующую пленку, образующуюся в процессе фильтрования частицами взвеси, выпадающими на поверхность загрузки;

б) фильтрование без образования на поверхности загрузки фильтрующей пленки.

При фильтровании первого вида на фильтре задерживаются первоначально только такие частицы взвеси, размер которых больше размера пор фильтрующего материала. Слой осадка (пленка), образующийся из задержанных частиц взвеси, сам по себе является фильтрующим материалом и играет основную роль в очистке воды, а песчаная загрузка фильтра служит поддерживающей опорой для отлагающихся на ее поверхности загрязнений.

Эффект осветления воды фильтрами при их работе по этому принципу постепенно увеличивается — по мере образования пленки над песком.

Фильтрование через поверхностную пленку является нормальным рабочим процессом фильтров, осветляющих воду без предварительной химической обработки ее коагулянтами. Этот процесс наиболее характерен для так называемых **медленных фильтров**. Медленные фильтры загружаются мелким песком и работают при малых скоростях фильтрования. Они способны обеспечить высокую степень осветления воды, задерживая мельчайшие частицы взвеси.

При фильтровании без образования поверхностной пленки задержание частиц, загрязняющих воду, происходит в толще слоя фильтрующей песчаной загрузки, где эти частицы извлекаются из воды и удерживаются на зернах песка под действием сил прилипания.

Не всякие частицы способны прилипать к зернам песка при фильтровании. Частицы, загрязняющие воду, обладают в естественном состоянии так называемой агрегативной устойчивостью, препятствующей как их взаимному слипанию — коагуляции, так и прилипанию к какой-либо поверхности. Однако после обработки воды коагулянтами агрегативная устойчивость взвешенных и коллоидных частиц устраняется, вследствие чего их способность к взаимному слипанию и прилипанию к зернам песка возрастает.

Фильтрование без образования поверхностной пленки является нормальным рабочим процессом **скорых фильтров**, осветляющих воду после химической обработки ее коагулянтами. В этом случае на фильтры поступает вода, содержащая агрегативно-неустойчивые частицы — мельчайшие хлопья, величина которых значительно меньше размера пор фильтрующей загрузки. Эти частицы свободно проникают с водой по поровым каналам в толщу песка, но задерживаются там под действием сил прилипания.

В фильтровании агрегативно-неустойчивой (способной к прилипанию) взвеси и состоит принцип скорого фильтрования. Только после предварительной химической обработки воды, в результате которой устраняется агрегативная устойчивость взвеси, можно получить на скорых фильтрах весьма высокий эффект осветления воды при высоких скоростях фильтрования.

Такая формулировка принципа скорого фильтрования была предложена Д. М. Минцем, который вместе со своими сотрудниками провел большую работу по исследованию очистки воды фильтрованием. Эти исследования способствовали развитию теоретических основ указанного метода.

§ 96. МЕДЛЕННЫЕ ФИЛЬТРЫ

Медленные фильтры могут применяться для фильтрации некоагулированной воды, содержащей относительно мелкую взвесь.

Скорость фильтрации на медленных фильтрах при содержании взвешенных веществ в исходной воде до 25 мг/л принимается равной 0,2 м/ч (до 0,3 м/ч — при выключении одного из фильтров на ремонт или промывку). При содержании взвешенных веществ в исходной воде от 25 до 50 мг/л скорость фильтрации соответственно принимают в пределах 0,2—0,1 м/ч. При столь малой скорости фильтрации медленные фильтры должны иметь весьма большую площадь. Это обуславливает их высокую строительную стоимость.

Медленные фильтры представляют собой бетонные или кирпичные резервуары.

В фильтрах площадью до 15 м² специального дренажа не устраивают. Сбор профильтрованной воды осуществляется через лоток в днище фильтра. При большей площади фильтра устраивают дренаж из перфорированных труб, кирпича или бетонных плит, укладываемых с прозорами.

Крупность зерен и высоту гравийных (поддерживающих) и песчаных (фильтрующих) слоев для медленных фильтров рекомендуется принимать в соответствии с табл. V.7.

Малая скорость фильтрации и малые размеры частиц взвеси способствуют созреванию фильтрующей пленки в течение 1—2 суток. Нормальная работа фильтра (от момента окончания созревания пленки до момента очистки) в медленных фильтрах продолжается 1—2 месяца. Для очистки с фильтра снимают загрязненный верхний слой песка толщиной 1—2 см. Очистка медленного фильтра при большой его площади является трудоемкой и дорогой операцией.

Медленные фильтры были первым типом фильтров, применявшихся в водопроводной практике. Достоинство их — весьма высокая степень осветления воды и высокий процент задержания бактерий (в современных установках обеззараживание воды проще и дешевле достигается ее хлорированием). Недостатками медленных фильтров являются их значительная строительная стоимость, большие размеры требуемой для их устройства площади и, наконец, сложность очистки.

Учитывая эти соображения, в СССР новые медленные фильтры в городских и производственных водопроводах теперь почти не строят. Строительные нормы рекомендуют их использование при относительно малой мутности исходной воды (до 50 мг/л), цветности до 50 град и отсутствии коагулирования. Медленные фильтры применяют в сельскохозяйственных водопроводах. Отсутствие реагентного хозяйства значительно упрощает обслуживание фильтров.

§ 97. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Фильтры, работающие по принципу скорого фильтрации, или «скорые фильтры», весьма широко применяются в практике очистки воды. Скорость фильтрации для этих фильтров принимается от 6 до

Таблица V.7

№ слоя сверху	Загрузочный материал	Крупность зерен в мм	Высота слоя в мм
1	Песок	0,3—1	1200
2	»	1—2	50
3	Гравий или щебень	2—4	100
4	То же	4—8	100
5	»	8—16	100
6	»	16—32	150

12 м/ч в зависимости от типа фильтров и крупности загрузки. Скорые фильтры используют для осветления мутных и цветных вод после коагулирования (и отстаивания), при реагентном умягчении, обезжелезивании и в некоторых других случаях.

При скором фильтровании значительно быстрее, чем при медленном, происходит загрязнение фильтра, требующее его очистки. Опыт работы скорых фильтров показывает необходимость их очистки 1—2 раза в сутки (а в паводки и чаще). При столь частой очистке фильтра весьма важно сократить до минимума требуемое для этого время и упростить самый процесс очистки.

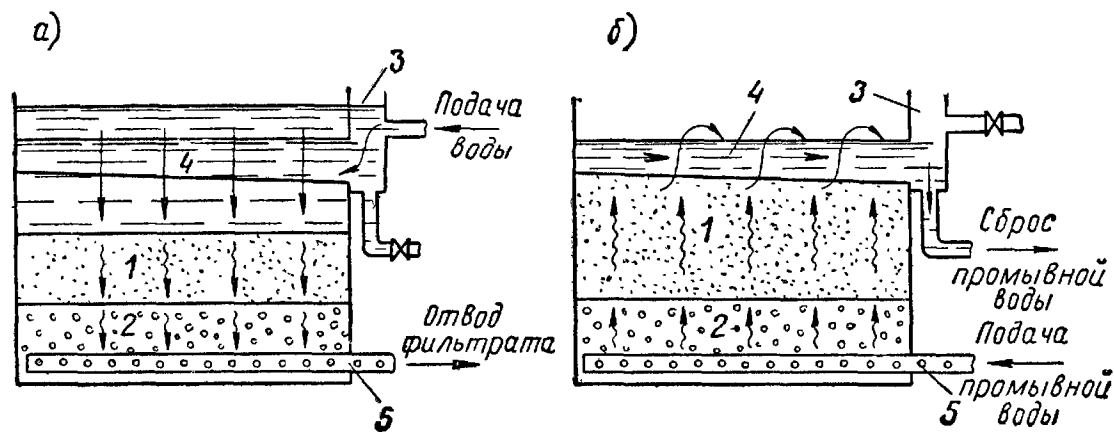


Рис. V.32

Очистку скорых фильтров производят путем промывки фильтрующего материала обратным током чистой воды, подаваемой снизу через дренаж и проходящей через слои гравия и песка. В некоторых установках для интенсификации процесса промывки песка применяют его механическое перемешивание (граблями, сжатым воздухом), дополнительную подачу воды на верхние слои фильтра (поверхностная промывка) и т. п.

Вода в процессе фильтрования может проходить через скорые фильтры:

а) самотеком — благодаря превышению уровня воды в фильтре над уровнем воды в резервуаре чистой воды (в который вода отводится);

б) под напором (обычно создаваемым насосами); фильтры в этом случае должны быть устроены в виде закрытых напорных резервуаров.

В соответствии с этими принципами работы различают фильтры самотечные и напорные.

Обычные самотечные скорые фильтры устраивают чаще всего в виде прямоугольных в плане железобетонных резервуаров.

На рис. V.32, а и б показаны схематически устройство и принцип работы скорого фильтра. Здесь 1 — фильтрующий слой песка и 2 — поддерживающие его слои гравия. Вода поступает на фильтр через карман 3 и желоба 4, проходит через слои песка и гравия и отводится при помощи дренажных устройств 5, расположенных в нижней части фильтра.

При промывке (рис. V.32, б) фильтр выключается из работы, промывная вода подается снизу через дренажные устройства и проходит слои гравия и песка в обратном направлении. Скорость прохождения через фильтр промывной воды в несколько раз больше скорости фильтрования. Вода взмучивает песок и интенсивно отмывает его от поступивших в процессе фильтрования загрязнений. Промывная вода отво-

дится через желоба 4. Борт желобов должен быть расположен на такой высоте над поверхностью песка, чтобы при данной интенсивности промывки в желоб вместе с промывной водой не мог быть вынесен песок той крупности, которую имеет загрузка фильтра. Промывка длится 5—7 мин.

§ 98. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ ВОДЫ НА СКОРЫХ ФИЛЬТРАХ

При проектировании фильтровальных установок заданными являются количество осветляемой воды, качество воды, поступающей на фильтры (в частности, содержание в ней взвешенных веществ, их физико-химические свойства, крупность частиц взвеси), и требуемая степень осветления. Величина располагаемого напора, обуславливающего движение воды через открытые фильтры, определяется в связи с компоновкой всей станции и обычно также задается при расчете фильтров.

При проектировании и расчете фильтров должны быть определены толщина фильтрующего слоя (при определенном фильтрующем материале), скорость фильтрации и оптимальная длительность периода работы фильтра между промывками. Поэтому весьма важно установить зависимость между всеми основными параметрами работы фильтра и заданными расчетными величинами.

Правильный выбор этих параметров, находящихся во взаимосвязи, имеет большое экономическое значение, так как он должен обеспечить оптимальное соотношение затрат на строительство и эксплуатацию станции.

Период работы фильтра между промывками (длительность фильтроцикла) определяется из двух условий. Во-первых, загрязнение фильтрующего материала в процессе работы приводит к увеличению в нем потерь напора. Эти потери могут возрастать до тех пор, пока через определенный промежуток времени T_n они не превысят располагаемого напора. Во-вторых, при увеличении загрязнения частиц фильтрующего материала происходит увеличение скоростей движения воды в порах, что ведет к частичному выносу осевших в порах частиц взвеси, содержащейся в фильтруемой воде. В результате этого качество фильтрата начинает ухудшаться. Таким образом, вторым критерием назначения длительности фильтроцикла является период времени T_z , в течение которого гарантируется требуемое качество фильтрата (продолжительность «защитного действия» загрузки фильтра). Как значение T_n , так и значение T_z зависит от качества воды, характеристик взвеси, загрузки фильтра и скорости фильтрации.

Очевидно, что для наиболее экономично запроектированного фильтра должно соблюдаться равенство

$$T_z = T_n.$$

Однако в целях обеспечения определенных санитарных качеств фильтрата целесообразно, чтобы T_z было несколько больше T_n . Рекомендуется принимать

$$\frac{T_z}{T_n} = 1,2—1,5.$$

Рассмотрим некоторые теоретические соображения о зависимости значений T_z и T_n от основных параметров процесса фильтрации воды и о взаимной связи этих параметров.

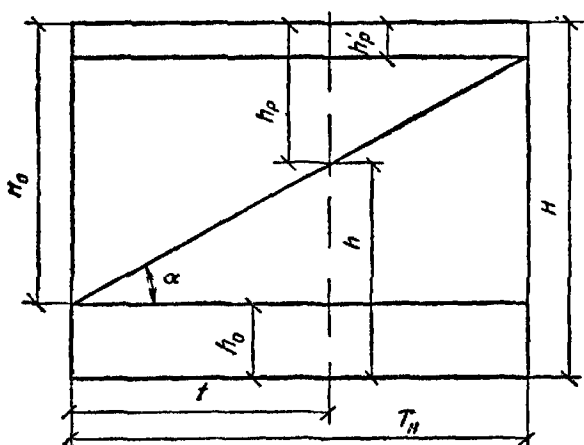


Рис. V.33

Количество воды, проходящей через фильтр (а следовательно, и скорость фильтрования), в открытых скорых фильтрах поддерживается, как правило, постоянным во все время работы фильтра при помощи специальных регулирующих устройств. Поэтому потери напора в самом фильтре зависят всецело от его гидравлического сопротивления. В процессе работы фильтра происходит отложение в его порах загрязнений, и, следовательно, гидравлическое сопротивление и потери напора в фильтре h возрастают во времени. Предельно допустимые потери напора

в фильтре H лимитируются разностью уровней воды над фильтром и в резервуаре чистой воды. Очевидно, что значение H равно разности указанных уровней за вычетом потерь напора в трубопроводах и арматуре, через которые отводится вода с фильтра.

Обозначим переменное значение потерь напора в фильтре через h (рис. V.33). По оси абсцисс будем откладывать время и примем (как это показывает опыт), что значение h возрастает во времени по линейному закону.

Начальное значение $h = h_0$ будет соответствовать потерям напора в чистом фильтре. В любой промежуточный момент работы фильтра

$$h = h_0 + \Delta h t,$$

где Δh — прирост потерь напора в единицу времени;
 t — время, прошедшее с начала фильтроцикла.

Очевидно, что когда значение h достигает своего предела $H - h'_p$, необходима промывка фильтра. Время T_n , прошедшее до этого момента от начала работы фильтра, составит длительность полезной работы фильтра.

Величины H_0 , h_p и h'_p — потери напора в регуляторе скорости фильтрования в разные периоды фильтроцикла (см. далее § 105).

Чем скорее идет нарастание потерь напора в фильтре, тем короче будет период T_n . Если потери напора возрастают в единицу времени на Δh , то, очевидно, длительность периода T_n может быть определена по формуле

$$T_n = \frac{H - h_0 - h'_p}{\Delta h},$$

где h'_p — потери напора в полностью открытом регуляторе.

В выражение для T_n входят две подлежащие исследованию величины: потери напора в чистом фильтре h_0 и интенсивность нарастания потерь напора в фильтре при отложении в нем загрязнений Δh . Рассмотрим отдельно обе эти величины.

Потери напора в чистом фильтре. Потери напора в чистом фильтрующем слое зависят от толщины слоя L , крупности и формы зерен фильтрующего материала, его пористости m , а также от скорости u движения воды в порах и вязкости воды μ .

Рассматриваемая здесь формула для определения потерь напора

в чистом фильтрующем слое была выведена Д. М. Минцем при помощи методов теории подобия и размерностей¹ на основании обработки большого числа опытных данных.

Из теории размерностей следует, что коэффициент сопротивления при движении воды через чистый фильтрующий слой

$$\eta = \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{l}{\rho u^2}$$

должен зависеть от числа Рейнольдса

$$Re = \rho \frac{ul}{\mu}$$

Здесь ΔP — перепад давления в слое фильтрующего материала; ρ — плотность воды; l — характерный линейный размер пористой среды.

Скорость u связана со скоростью фильтрации v простым соотношением

$$u = \frac{v}{m},$$

где m — пористость.

В качестве характерного линейного размера пористой среды может быть принят гидравлический радиус, равный отношению площади живого сечения потока к смоченному периметру. Площадь живого сечения потока определяется суммарной площадью сечений поровых каналов, а смоченный периметр — суммой периметров поперечных сечений зерен материала. Суммарная площадь поперечных сечений поровых каналов пропорциональна пористости m . Сумма периметров поперечных сечений зерен пропорциональна удельной поверхности зерен, т. е. поверхности зерен ω в единице объема фильтрующего материала. Тогда $l = m/\omega$. Для загрузки, состоящей из зерен с эквивалентным диаметром d_s :

$$\omega = \frac{6(1-m)\alpha}{d_s}.$$

Здесь α — так называемый коэффициент формы, учитывающий отличие формы зерен песка от шарообразной.

Подставив полученные выражения для u , l и ω в выражения для η и Re , получим

$$\eta = \frac{\Delta P m^3 d_s}{L \rho v^2 6\alpha(1-m)}; Re = \frac{\rho v d_s}{6\mu\alpha(1-m)},$$

Величина $\Delta P/L$ представляет собой перепад давления в фильтрующем слое на единицу его толщины. Потери напора на единицу толщины фильтрующего слоя будут, очевидно, равны:

$$i_0 = \frac{\Delta P}{L\gamma}$$

и, следовательно,

$$\frac{\Delta P}{L} = i_0\gamma,$$

где γ — удельный вес воды.

¹ Д. М. Минц, С. А. Шуберт. Гидравлика зернистых материалов. М., Изд-во МКХ РСФСР, 1955.

Введя в формулу, определяющую η , вместо $\Delta P/L$ его выражение через i_0 , получим

$$i_0 = \frac{6\alpha(1-m)\rho v^2}{m^3 \gamma d_s} \eta.$$

Используя обширный экспериментальный материал, Д. М. Минц нашел, что при $Re < 2$ коэффициент сопротивления η может быть описан (в системе СГС) формулой $\eta = 5,2/Re$. Эта зависимость выражает собой линейный закон фильтрации воды на скорых фильтрах.

Подставляя сюда приведенное выше выражение для Re , вводя получаемое выражение η в формулу для i_0 и принимая $\gamma \text{ воды} = 1000 \text{ кгс/м}^3$, получим

$$i_0 = \frac{0,188\alpha^2\mu(1-m)^2}{d_s^2 m^3} v.$$

Если выделить все величины, характеризующие пористость загрузки фильтра и вязкость воды, в коэффициент

$$\psi = \frac{0,188\alpha^2\mu(1-m)^2}{m^3},$$

то получим

$$i_0 = \psi \frac{v}{d_s^2}$$

и потери напора в чистом фильтрующем слое

$$h_0 = i_0 L = \psi \frac{vL}{d_s^2}.$$

Если принимать в приведенной формуле v в м/с и d_s в мм, то

$$\psi = \frac{\alpha^2\mu(1-m)^2}{1,9m^3}.$$

Значения коэффициента формы α можно принимать:

для окатанного речного песка	1,17
» остроугольного кварцевого песка	1,5—1,67
» антрацита	1,5—2,52

Анализ последнего выражения для i_0 показывает, что единичные потери напора в чистом фильтрующем слое увеличиваются пропорционально скорости фильтрования и значительно возрастают при уменьшении величины зерен и пористости фильтрующего материала. Кроме того, единичные потери напора возрастают с увеличением вязкости воды, т. е. с уменьшением ее температуры.

Наконец, полученные формулы можно представить в виде

$$i_0 = s_0 v \quad \text{и} \quad h_0 = s_0 L v = s v,$$

где s_0 — удельное сопротивление чистой загрузки, равное

$$s_0 = \frac{\psi}{d_s^2} = 0,188 \frac{\mu\alpha^2}{d_s^2} \cdot \frac{(1-m)^2}{m^3},$$

и $s = s_0 L$ — полное сопротивление чистого слоя.

Интенсивность нарастания потерь напора в фильтре при фильтровании суспензии. При прохождении через слой фильтрующего материала воды, содержащей взвешенные вещества, последние будут отлагаться на зернах загрузки, изменяя ее пористость m и суммарную поверхность ω , омываемую потоком воды.

Анализируя приведенные выше формулы для i и ω , можем получить следующее соотношение единичных потерь напора i_0 и i для начального и любого промежуточного момента работы фильтра:

$$\frac{i}{i_0} = \left(\frac{m_0}{m} \right)^3 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2.$$

Здесь ω_0 и ω — соответственно суммарная поверхность зерен фильтрующего материала в начальный и промежуточный моменты работы фильтра при фильтровании суспензий.

По мере накопления отложений в толще зернистой загрузки ее пористость все время уменьшается.

Что касается поверхности, омываемой потоком, то можно предположить, что она изменяется сравнительно мало. Действительно, с одной стороны, прилипающие к зернам песка частицы взвеси увеличивают омываемую потоком воды поверхность, с другой стороны, отложения на отдельных зернах, разрастаясь, соединяются между собой, и целые участки пространства, в которых ранее происходило движение воды, попадают в «мертвую» зону, где движение воды не происходит, и в результате поверхность, омываемая потоком воды, уменьшается. Учитывая это обстоятельство, Д. М. Минц предложил принимать величину $(\omega/\omega_0)^2 = 1$ и получил формулу:

$$i = i_0 \left(\frac{m_0}{m} \right)^3$$

или

$$i = i_0 \left(\frac{m_0}{m_0 - \Delta m} \right)^3,$$

где Δm — удельный объем осадка, накопившегося в фильтрующем слое к данному моменту.

Из этой формулы видно, что приращение гидравлического уклона при заилении фильтра пропорционально начальной величине гидравлического уклона i_0 .

Так как загрязнения распределяются неравномерно по толще загрузки, то и приращение гидравлического уклона будет различным для различных слоев фильтрующего материала.

Потери напора по всей толщине L загрузки могут быть выражены интегралом

$$h = \int_0^L i dx = i_0 \int_0^L \left(\frac{m_0}{m_0 - \Delta m} \right)^3 dx.$$

Значение полученного интеграла зависит от количества задержанного вещества и характера его распределения по толще загрузки, что может быть определено экспериментальным путем.

На основании многочисленных экспериментов установлено, что относительный прирост потерь напора в фильтре за расчетный период

$$\frac{\Delta h_{T_H}}{h_0} = \gamma' \varphi \frac{T_H d_s^{0.5}}{L},$$

где $\Delta h_{T_H} = H - h_0 - h'_p$.

Параметр γ' , учитывающий влияние свойств воды и взвеси (включая ее концентрацию), определяется пробным фильтрованием.

Параметр φ , характеризующий загрузку фильтра, находится в зависимости от коэффициента неоднородности загрузки.

Определяя отсюда время T_n работы фильтра до полного исчерпания располагаемого напора H и подставляя вместо h_0 его значение, полученное ранее, будем иметь

$$T_n = \frac{1}{\gamma' \varphi d_s^{0,5}} \left[\frac{(H - h_p') d_s^2}{\psi v} - L \right].$$

Рассмотрение этой формулы показывает, что длительность периода работы фильтра между промывками уменьшается с увеличением скорости фильтрования, с уменьшением крупности загрузки и с увеличением толщины слоя загрузки. Кроме того, длительность цикла тем меньше, чем больше концентрация взвешенных веществ в поступающей на фильтр воде.

Отношение концентрации взвеси в воде в данный момент процесса фильтрования C к начальной концентрации C_0 , т. е. C/C_0 , может быть выражено (как показывают исследования, проведенные в Академии коммунального хозяйства проф. Д. М. Минцем¹) в функции некоторых параметров

$$X' = b'L \text{ и } T' = a't,$$

где L — толщина слоя; v — скорость фильтрования; t — время.

При этом для заданного значения C/C_0 может быть получена (экспериментальным путем) следующая линейная связь между этими параметрами:

$$X' = kT' + X_0' \quad (V.4)$$

Кроме того, параметры X' и T' могут быть выражены через скорость v , эквивалентный диаметр загрузки d_s и толщину фильтра L так:

$$X' = \frac{L}{v^{0,7} d_s^{1,7}} \text{ и } T' = \frac{tv}{d_s}.$$

Значения X_0' и k находятся пробным фильтрованием для данной воды и для заданной степени осветления.

Если подставить в уравнение (V.4) приведенные выражения для X' и T' , то можно получить искомую величину времени $t = T_3$, т. е. длительность защитного действия загрузки для обеспечения заданной степени осветления:

$$T_3 = \frac{1}{k} \left(\frac{L}{v^{1,7} d_s^{0,7}} - \frac{X_0' d_s}{v} \right).$$

Отсюда видно, что T_3 возрастает с увеличением толщины фильтра L и уменьшается с увеличением скорости фильтрования и крупности зерен фильтрующего материала.

Приведенные формулы для расчета T_n и T_3 одновременно устанавливают взаимосвязь между всеми основными параметрами фильтрования t , L , v и d_s и в зависимости от постановки задачи позволяют задаваться одними из них и находить другие.

¹ А. А. Кастальский, Д. М. Минц. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. М., «Высшая школа», 1962.

§ 99. ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ЗАГРУЗКА СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Фильтрующий материал для загрузки фильтров должен обеспечивать требуемую пористость, обладать достаточной механической прочностью против истирания в процессе промывки и достаточной химической устойчивостью против растворяющего действия воды. Этим требованиям хорошо удовлетворяет речной кварцевый песок, который и является основным фильтрующим материалом, употребляемым при осветлении воды. Крупность зерен фильтрующего материала, как мы видим, тесно связана с основными расчетными параметрами работы фильтра и различна для разных типов фильтров.

Всякий фильтрующий материал обладает определенной неоднородностью размеров зерен, и для его характеристики служат так называемые средний диаметр $d_{ср}$, эквивалентный диаметр $d_э$ и коэффициент неоднородности K_n , определяемые в результате механического (ситового) анализа песка¹.

Средний диаметр $d_{ср}$ исследуемого песка есть диаметр его зерен, мельче которых в данном количестве песка содержится 50% (по массе) всех зерен.

Эквивалентный диаметр

$$d_э = \frac{100}{\sum \frac{P_i}{d_i}},$$

где P_i — процентное содержание фракций со средним диаметром зерен d_i .

Коэффициент неоднородности $K_n = d_{80}/d_{10}$, т. е. отношение калибра сита, через которое проходит 80% исследуемого песка, и калибра сита, пропускающего 10% того же песка, выражает степень неоднородности фильтрующего материала.

Анализ приведенных на стр. 290 формул показывает, что сохранение требуемого эффекта фильтрования может быть достигнуто при различной крупности зерен фильтрующего материала при условии одновременного изменения толщины фильтрующего слоя. Чем крупнее используемый для фильтров песок, тем больше должна быть толщина фильтра.

На основе опыта эксплуатации фильтровальных станций в СНиП II-Г.3-62 приведены рекомендуемые характеристики загрузки скорых фильтров и соответствующие значения высоты слоя фильтрующего материала.

В установках для осветления (и обесцвечивания) воды для хозяйственно-питьевых водопроводов наиболее часто используют песок с $d_э = 0,7—0,8$ мм при толщине слоя 0,7 м. Допускается также использование песка с $d_э = 0,9$ мм при толщине слоя 1,2—1,3 м и с $d_э = 1,1—1,2$ мм при толщине слоя 1,8—2 м.

Более крупный песок применяют для фильтрования воды в производственных установках и в предварительных фильтрах.

Весьма часто выбор фильтрующего материала ограничивается возможностями его получения на месте строительства и приходится применительно к местному наиболее дешевому материалу назначать параметры фильтрования (высоту слоя, скорость).

¹ О методах ситового анализа песка см. А. А. Кастальский, В. А. Клячко. Фильтры водоподготовительных установок. М., Госэнергоиздат, 1963, стр. 11—20.

В последние годы институтом ВОДГЕО были предложены и с успехом применены фильтры с двухслойной загрузкой. В этих фильтрах поверх слоя кварцевого песка толщиной 40—50 см с размером зерен 0,5—1,2 мм уложен слой дробленого антрацита толщиной также 40—50 см с размером зерен 0,8—1,8 мм. Подобное устройство фильтров позволяет увеличить их грязеемкость (благодаря увеличению зерен верхнего слоя фильтра) в 2—2,5 раза по сравнению с обычными песчаными фильтрами и повысить скорость фильтрования до 9—10 м/ч или соответственно удлинить рабочий период.

После промывки слой антрацита благодаря малому весу остается вверху.

Слой фильтрующего материала обычно располагается на поддерживающих слоях гравия или щебня.

Таблица V 8

№ слоя сверху	Пределы крупности гравия в мм	Толщина слоя в мм
1	2—4	50
2	4—8	100
3	8—16	100
4	16—32	100

Поддерживающие слои имеют конструктивное значение, одновременно препятствуя выносу зерен фильтрующего материала в дренажную систему. Крупность гравия или щебня в верхних слоях должна быть близкой к крупности зерен фильтрующего материала, а в нижних слоях принимается в зависимости от конструкции дренажа. Для

наиболее распространенного типа дренажа (большого сопротивления) параметры поддерживающих слоев рекомендуется принимать согласно табл. V 8.

Имеется ряд конструкций дренажей (см. далее), в которых поддерживающие слои отсутствуют.

§ 100. МЕТОДЫ РАСЧЕТА СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Одной из основных задач, решаемых при проектировании фильтровальных станций, является определение требуемой площади фильтров. Площадь отдельного фильтра может быть, очевидно, определена по формуле

$$\omega = \frac{Q}{v}.$$

Здесь Q — расчетный нормальный расход воды, приходящийся на один фильтр, в м³/ч, принимаемый в соответствии с заданной полезной производительностью станции в целом и принятым по технико-экономическим соображениям числом фильтров (см. § 104).

Расчетная скорость фильтрования воды v при нормальном режиме работы фильтра зависит от целого ряда факторов.

Задачей фильтра является обеспечение заданной степени осветления воды. Эта задача может быть выполнена при различных сочетаниях следующих основных параметров: а) скорости фильтрования, б) характеристики фильтрующего материала (гранулометрический состав и толщина слоя), в) длительности периода работы фильтра между промывками.

Технико-экономический анализ позволил установить рекомендуемые при нормальной работе фильтров пределы продолжительности рабочего цикла (8—12 ч). При соблюдении указанной длительности фильтроцикла расчетная скорость фильтрования будет в основном зависеть от характеристики фильтрующего материала.

Режим работы фильтровальных станций обуславливает необходи-

мость периодического повышения количества воды, подаваемой на фильтр, до Q_{ϕ} и, следовательно, форсирования скорости фильтрации до некоторого значения

$$v_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{\omega}.$$

Форсирование работы фильтров возникает при выключении на ремонт одного (при общем числе фильтров до 20) или двух (при их общем числе более 20) фильтров.

При этом длительность рабочего цикла при форсированном режиме не должна быть менее 6 ч.

На основании опыта проектирования и эксплуатации фильтровальных станций в СНиП II-Г.3-62 даются рекомендуемые расчетные скорости фильтрации при нормальном режиме v и допустимые скорости при форсированном режиме v_{ϕ} в зависимости от принятой характеристики загрузки (табл. V.9). По этим данным (при отсутствии данных пробного фильтрации) можно подобрать значения v и v_{ϕ} и определить значения ω .

Таблица V.9

Вид скорого фильтра	Характеристика фильтрующего материала					Расчетная скорость фильтрации при нормальном режиме v в м/ч	Допустимая скорость фильтрации при форсированном ре- жиме v_{ϕ} м/ч
	диаметр зерен в мм			коэффи- циент неодно- родности K_H	толщина слоя в м		
	мини- маль- ный	мак- си- маль- ный	эквива- лентный d_{Σ}				
С однослойной загруз- кой различной крупно- сти	$\begin{cases} 0,5 \\ 0,7 \\ 0,9 \end{cases}$	$\begin{cases} 1,2 \\ 1,5 \\ 1,8 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,7-0,8 \\ 0,9-1 \\ 1,1-1,2 \end{cases}$	$\begin{cases} 2-2,2 \\ 1,8-2 \\ 1,5-1,7 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,7 \\ 1,2-1,3 \\ 1,8-2 \end{cases}$	$\begin{cases} 6 \\ 8 \\ 10 \end{cases}$	$\begin{cases} 7,5 \\ 10 \\ 12 \end{cases}$
С двухслойной загруз- кой:							
кварцевый песок .	0,5	1,2	0,8	2	0,4—0,5	10	12
антрацит	0,8	1,8	1,1	2	0,4—0,5	10	12

Слой воды над поверхностью песка в открытых скорых фильтрах принимают не менее 2 м, а общий расчетный напор обычно равным 3 м.

Пробное фильтрование воды, подлежащей осветлению, при условии намеченной химической обработки ее дает возможность получить ряд параметров, позволяющих уточнить значения v и L , определить значение T_3 и проверить отношение T_3/T_H (см. § 98).

Все эти расчеты могут быть выполнены в соответствии с приведенными выше теоретическими соображениями. Порядок проведения этих расчетов может быть следующим.

1. В основу расчета принимается характеристика имеющегося фильтрующего материала (d_{Σ} , d_{20} , пористость m , коэффициент формы α).

2. Пробным фильтрованием определяются параметры k , X_0 и γ .

3. Для принятой загрузки вычисляется параметр

$$\psi = \frac{\alpha^2 \mu (1 - m)^2}{1,9 m^3},$$

где μ — вязкость воды, принимаемая в зависимости от ее температуры.

4. Пользуясь графиком на рис. V.34, определяют значение ϕ для заданного отношения d_{20}/d_{Σ} .

5. Вычисляют желательную толщину слоя фильтрующего материала

$$L = \frac{(H - h'_p) d_3^2}{\psi v} - \gamma' \varphi T_n \sqrt{d_3}.$$

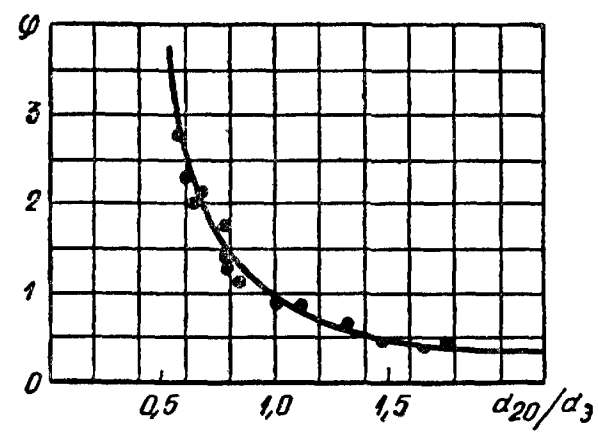


Рис V.34

Здесь $H-h'_p$ принимают в рекомендуемых пределах — около 3 м и задаются (в первом приближении) значением скорости v , например по указаниям СНиП II-Г.3-62 (см. табл. V.9).

6. По номограмме на рис. V.35 определяют величину X' в зависимости от d_3 , v и L .

7. Вычисляют время защитного действия загрузки

$$T_s = \frac{d_3}{kv} (X' - X_0).$$

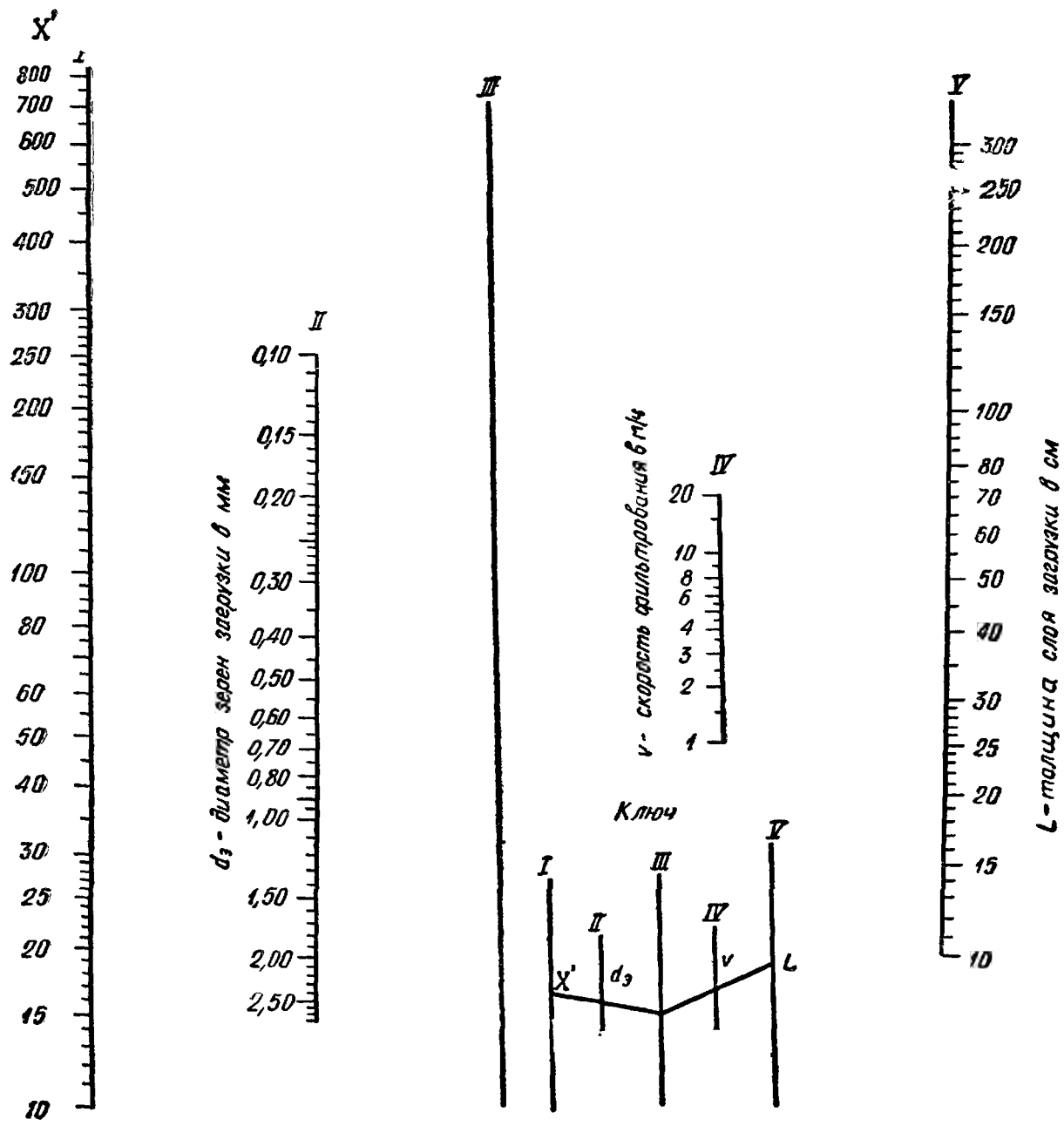


Рис. V.35

8. Находят отношение T_3/T_n , в котором значение T_n принимают в соответствии с нормативами. Если отношение не выходит за рекомендуемые пределы (1,2—1,5), то полученные величины v и L могут быть приняты. Если же T_3/T_n выходит из установленных пределов, то необходимо изменить скорость v в формуле для L , вычислить новое значение L и соответствующее ему новое значение T_3 . Эти вычисления следует выполнять до тех пор, пока отношение T_3/T_n не будет соответствовать оптимальному.

§ 101. ДРЕНАЖНЫЕ (РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ) СИСТЕМЫ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Дренажная система фильтра является одним из важнейших его элементов. Дренаж должен обеспечить равномерный по всей площади фильтра отвод фильтруемой воды, предотвратить унос зерен фильтрующего материала и, что важнее всего, обеспечить равномерное распределение по всей площади фильтра промывной воды (в связи с чем эти системы называют также распределительными).

Неравномерное поступление промывной воды, подаваемой с большими скоростями, может привести к неравномерной и неудовлетворительной промывке фильтра, вызвать сдвиг поддерживающих слоев и нарушить правильную работу фильтра.

Для обеспечения равномерности подачи промывной воды, т. е. одинаковой интенсивности промывки по всей площади фильтра, были предложены различные методы и различные конструкции дренажей. Достаточная степень равномерности промывки может быть достигнута при устройстве дренажей большого сопротивления.

а. Принцип действия дренажей большого сопротивления

Рассмотрим схематический вертикальный разрез фильтра (рис. V.36). Вода, подаваемая для промывки, идет по распределительной системе и проходит последовательно отверстия в дренажных устройствах, поддерживающий слой и слой фильтрующего материала. Рассмотрим два произвольно выбранных пути промывной воды OA и OB от точки ввода O до поверхности фильтра.

Одинаковая интенсивность промывки фильтра на путях $OA(I)$ и $OB(II)$ может быть обеспечена только в том случае, если на этих путях вода будет встречать равные сопротивления. Суммарное сопротивление на каждом из намеченных путей воды будет слагаться из сопротивления в распределительной системе дренажа s_1 , сопротивления в отверстиях дренажа s_2 , сопротивления в поддерживающем слое s_3 и сопротивления в слое фильтрующего материала s_4 (отнесенных условно к единице площади фильтра).

Сопротивления s_3 и s_4 в различных местах фильтра неодинаковы ввиду неравномерного загрязнения песка и неоднородности состава поддерживающего слоя. Сопротивление в распределительной системе s_1 различно на путях I и II вследствие различной их длины. Только сопротивление s_2 будет одинаково на любом пути воды при условии точного выполнения в натуре размеров отверстий в дренажной системе и одинаковых расходов воды через все отверстия.

Таким образом, суммарные величины сопротивлений на пути *I*:

$$\Sigma s_I = s_1^I + s_2 + s_3^I + s_4^I$$

и на пути *II*:

$$\Sigma s_{II} = s_1^{II} + s_2 + s_3^{II} + s_4^{II}$$

при промывке фильтра будут неодинаковы.

Суммарные потери напора H_I и H_{II} на тех же путях будут равны, так как давление в начальной точке этих путей (в точке *O*) одинаково, одинаковы также и давления в конечных точках, лежащих в одной горизонтальной плоскости.

Суммарные потери напора на путях *I* и *II* могут быть представлены в таком виде¹:

$$H_I = \Sigma s_I q_I^2, \quad H_{II} = \Sigma s_{II} q_{II}^2,$$

где Σs — суммарное сопротивление, отнесенное к единице поверхности фильтра;

q — интенсивность промывки (количество воды, подаваемой на 1 м² поверхности фильтра) в л/с.

Так как $H_I = H_{II}$, то $\Sigma s_I q_I^2 = \Sigma s_{II} q_{II}^2$, откуда

$$\frac{q_{II}}{q_I} = \frac{\sqrt{\Sigma s_I}}{\sqrt{\Sigma s_{II}}} = \frac{\sqrt{s_1^I + s_2 + s_3^I + s_4^I}}{\sqrt{s_1^{II} + s_2 + s_3^{II} + s_4^{II}}} = \beta_*$$

Так как суммарные сопротивления на различных путях движения воды неодинаковы, то $q_I \neq q_{II}$, т. е. интенсивность промывки не будет равномерна по всей площади фильтра.

Величина $\beta = q_{\min}/q_{\max}$ выражает степень неравномерности распределения промывной воды по площади фильтра.

Увеличивая сопротивление в отверстиях дренажа s_2 , можно получить значение β , достаточно близкое к единице. Обычно считают приемлемым $\beta = 0,95$.

На изложенном принципе основано устройство дренажей большого сопротивления.

6. Конструкции дренажей большого сопротивления

Дренажи большого сопротивления имеют наибольшее распространение в современных фильтровальных установках.

Рассмотрим некоторые наиболее широко применяемые конструкции таких дренажей.

Трубчатый дренаж. Этот дренаж (рис. V.37) представляет собой систему труб (чугунных или стальных), укладываемых на дно фильтра в нижних слоях гравия. Обычно по дну каждого отдельного фильтра укладывается одна магистральная труба *ОБ* с присоединенными к ней с обеих сторон ответвлениями из труб меньшего диаметра. В ответвлениях имеются отверстия, направленные вниз под углом около 45° к вертикали. Струи воды, вытекающие из отверстий при промывке, ударяются о дно фильтра и, отражаясь, создают равномерно восходящие токи воды в толще поддерживающего материала и песка.

На рис. V.38 показана схема устройства трубчатой дренажной системы большого сопротивления без горизонтальной компенсации.

Разновидностью трубчатого дренажа, допускающей укладку филь-

¹ Для упрощения принимается квадратичный закон сопротивления во всех звеньях системы.

Рис. V.36

1 — песок; 2 — материал поддерживающего слоя; 3 — дренаж; 4 — желоба

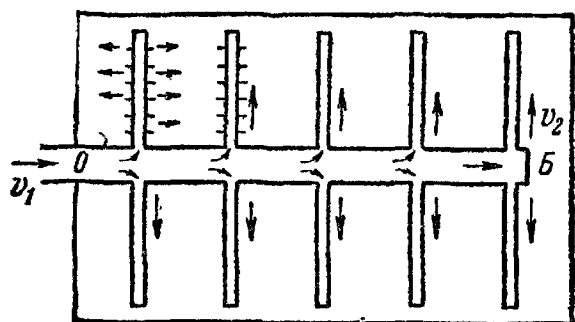


Рис. V.37

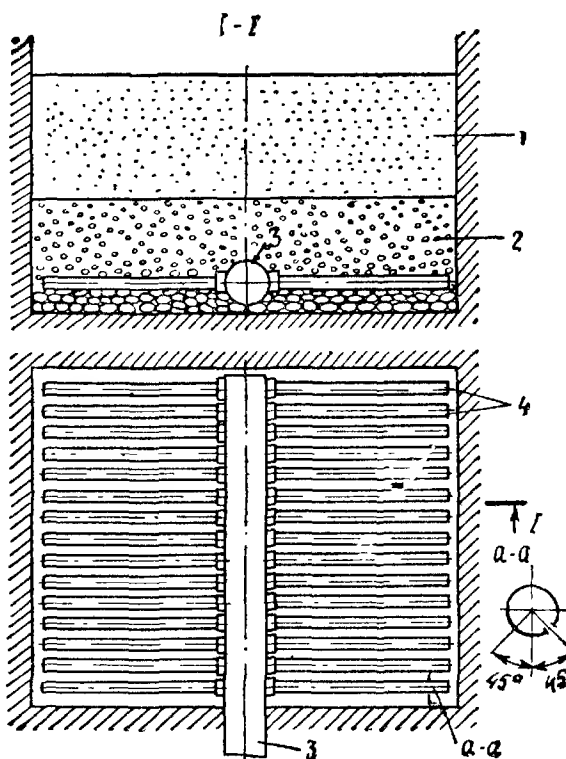
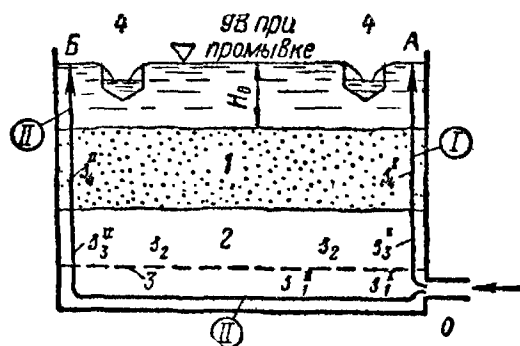
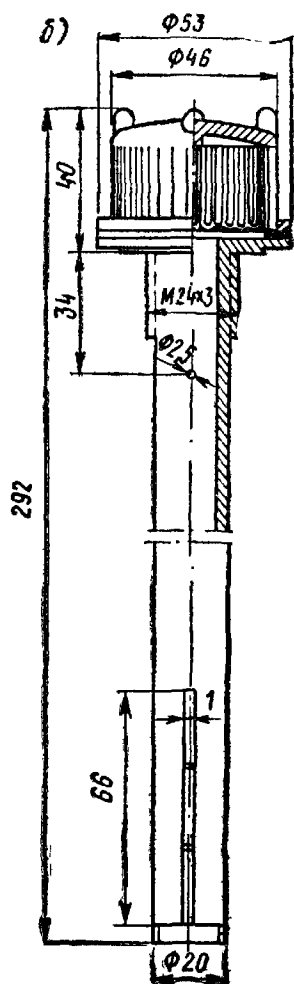
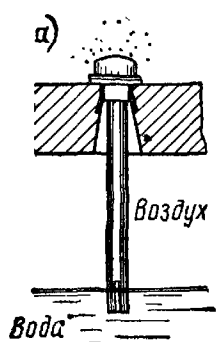


Рис. V.38

1 — фильтрующий слой; 2 — поддерживающие слои; 3 — коллектор; 4 — ответвления дренажа

Рис. V.39

рующего материала без поддерживающих слоев, является щелевой трубчатый дренаж, в котором в стенках труб ответвлений устроены щели шириной около 0,6 мм. Во избежание коррозии и зарастания щелей ответвления такого дренажа должны изготавливаться из нержавеющей стали или из прочной пластмассы.

Колпачковые дренажи. При этой системе дренажа для распределения промывной воды используются колпачки той или иной конструкции, которые или навинчиваются на присоединенные к трубчатой системе, подобной обычному дренажу, вертикальные штуцера, или укрепляются в верхнем днище фильтра, отделяющем фильтр от междудонного пространства, или ввинчиваются в заложенные в бетонные плиты закладные детали.

На рис. V.39, а показана деталь установки колпачка в бетонном днище фильтра, а на рис. V.39, б дан общий вид пластмассового колпачка для водовоздушной промывки.

В практике строительства фильтров применяются различные виды колпачковых дренажей, а также пористые плиты, образующие дренажное днище фильтров.

в. Расчет дренажей большого сопротивления

При расчете дренажей большого сопротивления необходимо подобрать сопротивление в отверстиях дренажной системы, обеспечивающее требуемую равномерность подачи промывной воды, определить величину потерь напора в дренаже и найти размеры всех элементов дренажной системы (диаметры труб, число, взаимное расстояние и размеры отверстий).

Расчетные расходы промывной воды определяются принятой интенсивностью промывки и площадью фильтра. Интенсивность промывки принимается в зависимости от характеристики фильтрующего материала (см. § 102).

Опыт эксплуатации фильтров и специальные исследования показали, что требуемая степень равномерности подачи промывной воды достигается при условии, если площадь отверстий в дренажной системе составляет 0,2—0,25% площади фильтра. При этом значение отношения β получается близким к 0,9.

Установим зависимость между напором H_0 , под которым должно происходить истечение воды из отверстий дренажа, интенсивностью промывки q и суммарной площадью отверстий в дренаже Ω .

Количество воды, вытекающей из одного отверстия площадью ω (при H_0 в м и ω в м²):

$$q_0 = \mu \omega \sqrt{2gH_0} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Умножив обе части этого равенства на число отверстий n , приходящихся на один фильтр, и разделив их на площадь фильтра F , получим

$$\frac{q_0 n}{F} = \mu \frac{\omega n}{F} \sqrt{2gH_0}.$$

Умножив величину $q_0 n/F$ на 1000, получим интенсивность промывки q в л/с на 1 м² площади фильтра. Таким образом:

$$\frac{q_0 n}{F} = \frac{q}{1000}.$$

Величина $\omega n/F = \Omega/F$ есть отношение суммарной площади отверстий дренажа к площади фильтра. Выразив это отношение в процентах и обозначив его через p , получим

$$q = 10\mu p \sqrt{2gH_0}.$$

Отсюда

$$H_0 = \frac{q^2}{(10\mu p)^2 2g}.$$

Подставив сюда заданную величину q , а также p в указанных выше пределах, получим искомую величину H_0 .

Величина коэффициента расхода μ принимается в зависимости от отношения диаметра отверстия d_0 к толщине стенок дренажных труб δ :

d_0/δ	• •	1,25	1,5	2	3
μ	• •	0,76	0,71	0,67	0,62

Для щелей принимают $\mu = 0,65$.

Зная площадь фильтра и приняв величину p , можно определить общую площадь отверстий дренажа (в m^2):

$$\Omega = \frac{pF}{100}.$$

Задаваясь диаметром отверстий (в пределах 10—12 мм), можно найти общее число отверстий и распределить их по длине дренажных труб.

При устройстве щелей их ширину принимают по размеру наименьших зерен фильтрующего материала.

Диаметр дренажных труб определяют по скорости 1,5—2 м/с.

Для определения потерь напора в дренажной системе СНиП II-Г.3-62 рекомендуют эмпирическую формулу

$$h = \left(\frac{2,2}{K_\omega^2} + 1 \right) \frac{v_k^2}{2g} + \frac{v_{6,0}^2}{2g},$$

где K_ω — коэффициент, равный отношению суммарной площади всех отверстий распределительной системы к площади поперечного сечения общего коллектора;

v_k и $v_{6,0}$ — скорости соответственно в начале коллектора и в боковых ответвлениях распределительной системы.

Эта формула дает величину h , обеспечивающую равномерность подачи промывной воды около 0,9, что является приемлемым. Значение K_ω для указанной степени равномерности подачи воды следует принимать равным 0,35.

Как видим, в рекомендуемой формуле вместо отношения суммарной площади отверстий к площади фильтра p использовано отношение площади отверстий к поперечному сечению коллектора. Такой подход к расчету в принципе более логичен.

§ 102. ПРОМЫВКА СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Промывка фильтров обратным током воды. Задачей промывки фильтра является удаление из толщи фильтрующего материала (особенно из его верхних слоев) загрязнений, задержанных в процессе фильтрации. При этом зерна фильтрующего материала должны быть тщательно отмыты и должны занимать после промывки то положение, которое они занимали при нормальной работе фильтра.

В процессе промывки восходящие токи промывной воды взмучивают песок, и объем его увеличивается; это увеличение объема называют «расширением песка».

Опыты показали, что эффективность промывки зависит от степени

расширения песка. Степень расширения песка e может быть выражена через толщину слоя фильтрующего материала L_0 и толщину этого слоя, «расширившегося» при промывке, L :

$$e = \frac{L - L_0}{L_0}.$$

Отсюда

$$L = L_0(e + 1).$$

Если поверхность песка до промывки во время фильтрования занимала положение aa (рис. V.40), то при промывке песок поднимется, и поверхность взмученной массы песка, поддерживаемого восходящими токами воды, займет некоторое положение bb .

Высота подъема песка будет тем больше, чем больше скорость подъема промывной воды, т.е. чем больше интенсивность промывки. Кроме того, высота подъема частиц песка зависит от температуры воды.

Чем ниже температура воды, а следовательно, чем больше ее вязкость, тем выше будут подниматься при той же скорости промывки частицы промываемого песка.

Расширение песка происходит лишь при условии, если интенсивность промывки превышает некоторое критическое для данного случая значение.

Весьма интересные теоретические исследования и эксперименты по промывке скорых фильтров были проведены

в Академии коммунального хозяйства Д. М. Минцем и С. А. Шубертом.

При взвешивании песка промывной водой сила тяжести песка (в воде) уравнивается разностью сил давления у нижней и верхней поверхностей взвешенного слоя. Относя названные силы к 1 м^2 площади фильтра, можем написать $G = \Delta P$.

Вес взвешенного в воде слоя песка на 1 м^2 площади фильтра

$$G = (\rho_{\text{п}} - \rho)g(1 - m_0)L_0,$$

где $\rho_{\text{п}}$ и ρ — плотность соответственно песка и воды; m_0 — пористость загрузки до расширения.

Перепад сил давления

$$\Delta P = \gamma h = \rho gh.$$

Подставляя в основное уравнение динамического равновесия полученные выражения для G и ΔP , определим из него потери напора во взвешенном слое

$$h = \frac{\rho_{\text{п}} - \rho}{\rho} (1 - m_0) L_0.$$

Из этой формулы следует, что потери напора (и перепад сил давления) в слое взвешенного песка постоянны. Они не зависят от скорости восходящего движения воды. Таким образом, с изменением интенсивности промывки (сверх критических значений) изменяются степень расширения и толщина взвешенного слоя, но потери напора во взвешенном слое остаются неизменными.

Движение воды через слой песка, взвешенного в восходящем пото-

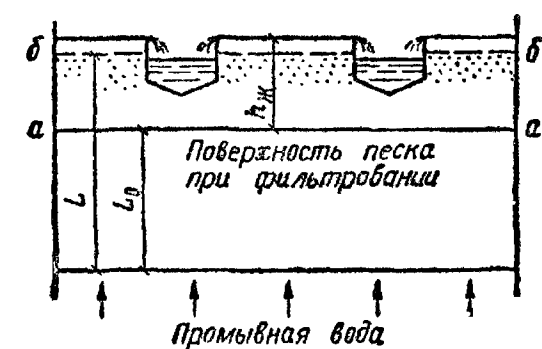


Рис. V.40

ке, можно рассматривать как частный случай движения жидкости в пористой среде. Таким образом, устанавливается определенная аналогия между движением воды во взвешенном слое и движением ее через фильтрующий материал. Разница заключается в том, что при изменении скорости в первом случае меняется толщина слоя, но потери напора остаются постоянными, во втором случае толщина слоя остается той же, а потери напора изменяются.

Для изучения законов движения воды через слой песка, взвешенного в восходящем потоке, Д. М. Минц и С. А. Шуберт использовали теорию подобия и в результате обработки опытных данных предложили формулы, позволяющие определять при этом виде движения коэффициенты сопротивления, скорости и интенсивности промывки.

В соответствии с результатами этих исследований скорость движения промывной воды v (в см/с) может быть выражена следующей формулой:

$$v = \left(\frac{g}{A \cdot 6^{1,7}} \right)^{0,77} \frac{(\rho_{\text{п}} - \rho)^{0,77} d^{1,31} (e + m_0)^{2,31}}{\alpha^{1,3} \mu^{0,54} \rho^{0,23} (e + 1)^{1,77} (1 - m_0)^{0,54}}$$

где d — диаметр зерен песка (для однородной загрузки);

μ — коэффициент вязкости воды, зависящий от ее температуры.

Если принять для кварцевого песка $\rho_{\text{п}} = 2,62$ и для воды $\rho = 1$, а также использовать полученные из опыта значения параметра A и коэффициента формы зерен песка α , то формула примет такой вид:

$$v \geq 10 \frac{d^{1,31}}{\mu^{0,54}} \cdot \frac{(e + m_0)^{2,31}}{(e + 1)^{1,77} (1 - m_0)^{0,54}}$$

Для практических расчетов удобно вместо скорости v ввести в формулу «интенсивность промывки» q , т.е. количество воды, подаваемой для промывки фильтров на 1 м² его площади (в л/с):

$$q = 100 \frac{d^{1,31}}{\mu^{0,54}} \cdot \frac{(e + m_0)^{2,31}}{(e + 1)^{1,77} (1 - m_0)^{0,54}}$$

Эта формула устанавливает зависимость между интенсивностью промывки и степенью расширения песка для различной крупности (и пористости) загрузки и различной температуры (а следовательно, и вязкости) воды.

Полученная для q формула в представленном виде справедлива для однородной загрузки, т.е. песка с одинаковой крупностью зерен. Так как в практике песчаная загрузка фильтра всегда состоит из зерен различного диаметра, в приведенной формуле под d следует понимать эквивалентный диаметр песка.

Таблица V.10

Тип загрузки скорого фильтра	Относительное расширение загрузки в %	Интенсивность промывки при температуре воды 20° С в л/(с·м ²)	Длительность промывки в мин
Песок с крупностью зерен в мм:			
0,7—0,8	45	12—14	6—5
0,9—1	30	14—16	
1,1—1,2	25	16—18	
Двухслойная	50	13—15	7—6

В табл. V.10 приведены значения требуемого расширения песка и соответствующие им интенсивности и длительности промывки для различных загрузок.

Применение антрацитовый загрузки (как более легкой) позволяет значительно (на 70%) снизить интенсивность промывки при том же эффекте очистки фильтрующего материала.

Бóльшие значения интенсивности промывки соответствуют меньшим значениям ее длительности.

Как видно из приведенных формул, при более высоких температурах воды, т. е. при меньшей ее вязкости, требуемая интенсивность промывки (при прочих равных условиях) возрастает. Таким образом, расход промывной воды летом больше, чем зимой.

Верхняя промывка скорых фильтров. В качестве мероприятия, повышающего качество промывки фильтров и предотвращающего накопление остаточных загрязнений на фильтре, применяют так называемую верхнюю (или поверхностную) промывку фильтров, при которой промывная вода подается на фильтр сверху. Верхнюю промывку применяют как дополнение к основной промывке фильтра снизу обратным то-

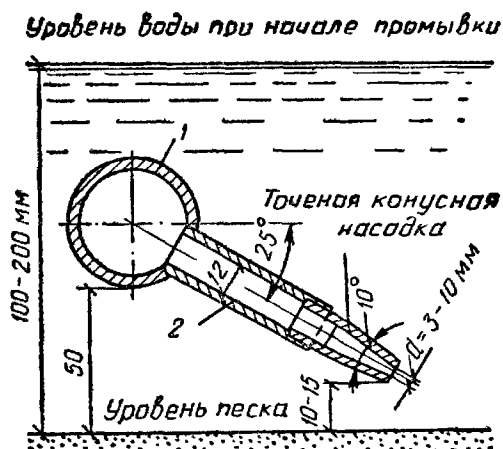
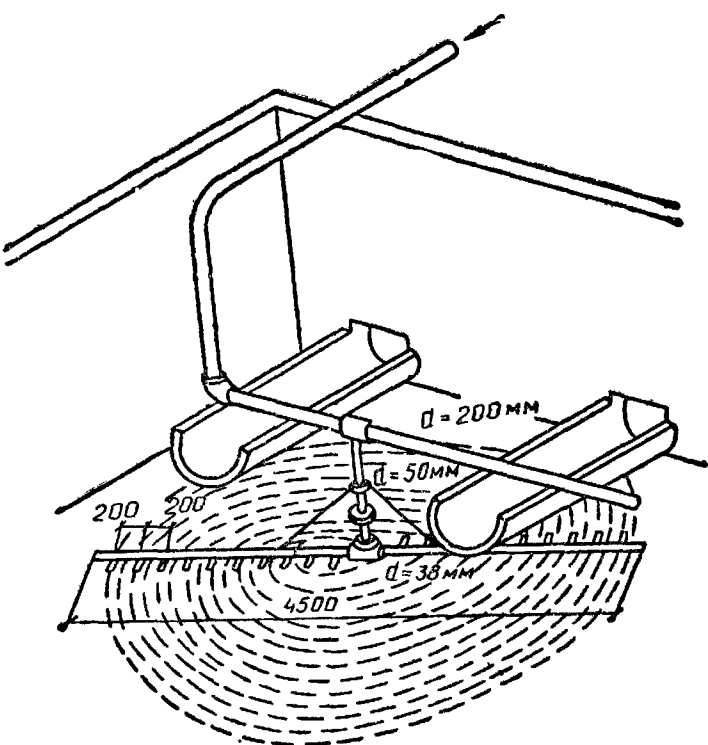


Рис. V.41

ком воды и производят в сочетании с последней. Задачей верхней промывки является взмучивание загрязнений верхнего слоя фильтрующего материала.

Существует два основных способа поверхностной промывки: с неподвижными промывными трубами и с вращающейся промывной трубой.

При первом способе промывная вода подается на фильтр через сеть дырчатых труб, расположенных на высоте 5—7,5 см над поверхностью песка параллельно желобам для отвода промывной воды. Отверстия в трубах расположены в шахматном порядке и обращены вниз под углом 30° к горизонту. Интенсивность промывки составляет 3—4 л/(с·м²).

Второй способ (рис. V.41) осуществляется при помощи вращающейся трубы 1, снабженной отверстиями или соплами 2, через которые вода подается на фильтр. Труба 1 вращается по принципу сегнера колес в плоскости, расположенной на 5 см выше поверхности фильтра.

Интенсивность промывки равна $0,5—0,75$ л/(с·м²). Чтобы струи воды проникали в слой песка на глубину $10—15$ см, скорость движения ее при выходе из сопл должна быть 20 м/с и более. Эта система промывки дает хорошие результаты, но требует подачи промывной воды под давлением порядка $4—4,5$ кгс/см², т.е. значительно превышающим давление, необходимое для обратной промывки. При этом вода может подаваться от напорного водовода очищенной воды. Если давление в нем недостаточно, приходится прибегать к установке специального промывного насоса повышенного давления.

§ 103. ОТВОД И ПОДАЧА ПРОМЫВНОЙ ВОДЫ

Промывная вода отводится с фильтра системой желобов или дырчатых труб, расположенных над поверхностью фильтрующего материала. Кромка желоба должна быть расположена на такой высоте над «статическим» уровнем песка aa (см. рис. V.40), чтобы вертикальные токи промывной воды могли выносить в желоб лишь частицы загрязнений, вымытых из фильтра, не увлекая за собой частицы взмученного и поднятого водой песка. Следовательно, кромка желоба должна быть расположена выше уровня подъема песка при промывке.

Высота подъема песка зависит от толщины его слоя и степени его расширения, зависящей в свою очередь от интенсивности промывки. Обычно, учитывая увеличение скорости движения воды при ее проходе между желобами, кромку желоба располагают на 25 см выше поверхности bb песка после его расширения. Таким образом, при толщине слоя песка в фильтре L_0 и расчетном проценте степени расширения песка e высота расположения кромки желоба над статическим уровнем песка будет

$$h_{\text{ж}} = \frac{eL_0}{100} + 0,25 \text{ м.}$$

Для обеспечения равномерного удаления промывной воды с фильтра и выноса частиц загрязнений необходимо, чтобы длина горизонтального пути воды при изливе ее в желоба была по возможности небольшой.

В соответствии с указаниями СНиП II-Г.3-62 расстояние между осями соседних желобов не должно превышать $2,2$ м.

Площадь поперечного сечения желоба определяется по расчетному расходу отводимой им воды $Q_{\text{ж}}$. Очевидно, что

$$Q_{\text{ж}} = \frac{q\Omega}{1000n},$$

где q — расчетная интенсивность промывки фильтра в л/(с·м²);
 Ω — площадь фильтра;
 n — число желобов на фильтре.

Желоба устраивают из железобетона или листовой стали. Днищам желобов придают продольный уклон $0,01$ по ходу воды. В поперечном сечении днища имеют треугольную или полукруглую форму (рис. V.42).

Размеры желобов типовых профилей выражают обычно через их ширину B (рис. V.42). Высота прямоугольной части сечения H принимается от $0,75$ до $0,5$ B .

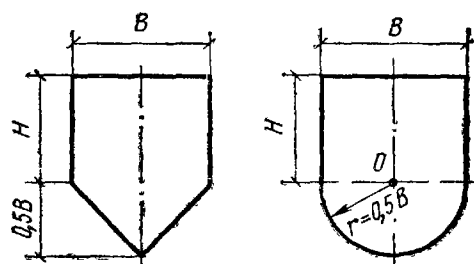


Рис. V.42

Приблизленно площадь поперечного сечения желоба определяют обычно из условий получения в его конечном сечении расчетной скорости $v=0,6$ м/с, т. е.

$$\omega_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{ж}}}{0,6}.$$

Однако более правильно использовать для определения $\omega_{\text{ж}}$ расчетные формулы, учитывающие действительный характер движения жидкости в желобе, когда расход воды непрерывно возрастает по длине желоба.

Применяя к расчету желобов законы движения жидкости с переменной массой, проф. Д. М. Минц получил расчетную формулу для определения площади живого сечения в конце желоба (в сопряжении со сборным каналом):

$$\omega = 1,73 \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{ж}}}{g} B}.$$

Определяя отсюда ширину B для желобов различных форм (см. рис. V.42) и соотношений H/B , можно получить формулу

$$B = K \sqrt[5]{\frac{Q_{\text{ж}}^2}{\left(1,57 + \frac{2H}{B}\right)^3}}.$$

где коэффициент K зависит от формы днища желобов и принимается равным 2,1 при треугольных днищах и равным 2 при полукруглых днищах.

Эта формула рекомендуется строительными нормами и дает более экономичные результаты (т. е. меньшие размеры желобов), чем приближенный расчет по условной скорости $v=0,6$ м/с.

Желоба присоединяются к сборному карману или каналу, из которого промывная вода удаляется по вертикальной трубе и шахте в водосток.

Как указывалось, фильтры промывают фильтрованной водой. Промывную воду подают на фильтры либо при помощи промывных насосов (забирающих воду из резервуаров чистой воды), либо от специальных напорных баков (наполняемых от водоводов станции второго подъема).

Емкость бака промывной воды следует принимать, как правило, исходя из условий хранения в нем запаса воды, требуемого для двух промывок фильтра при одновременной промывке одного фильтра или для трех промывок при одновременной промывке двух фильтров.

Полная высота подъема, которую должны создавать насосы, подающие промывную воду, складывается из следующих величин:

- а) расчетной геометрической высоты подъема воды, равной разности отметок кромки желобов, отводящих с фильтра промывную воду, и минимального уровня в резервуаре чистой воды, откуда насос забирает воду;
- б) потерь напора в трубах, фасонных частях и арматуре на пути от резервуара до фильтров, определяемых по скорости 2—2,5 м/с;
- в) потерь напора в дренаже;
- г) потерь напора в песке и гравии (принимаемых равными высоте их слоя).

При подаче промывной воды от напорного бака дно его должно быть расположено выше уровня кромок желобов фильтра на высоту, равную сумме величин перечисленных потерь.

Недостатками промывки фильтров от напорного бака являются определенные промежутки между промывками отдельных фильтров, лимитируемые емкостью бака и временем его наполнения, а также увеличение стоимости здания станции, связанное с устройством бака. Достоинство этого метода заключается в том, что при нем не требуется установки промывного насоса большой производительности, дающего вследствие периодичности пуска неравномерную нагрузку на электросеть, питающую насосы.

Достоинством промывки от насоса является небольшая стоимость установки и возможность промывки фильтров в любом порядке и с любой продолжительностью, так как промывные насосы берут воду из резервуара чистой воды большой емкости.

Выбор метода подачи промывной воды производится на основании технико-экономического сравнения.

Опыт проектирования фильтровальных станций показывает, что для станций большой производительности обычно целесообразно устройство промывных баков, а для станций средней и малой производительности — промывных насосов.

Промывной насос устанавливается в здании фильтровальной станции, а иногда на насосной станции второго подъема.

§ 104. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ СТАНЦИИ, СУММАРНОЙ ПЛОЩАДИ И ЧИСЛА ФИЛЬТРОВ

При проектировании фильтровальных станций основной заданной величиной является полезная производительность станции, равная, очевидно, сумме S расчетного суточного расхода воды, которая должна быть подана снабжаемому объекту, и расхода на все собственные нужды водопровода, кроме тех, которые связаны с эксплуатацией фильтров.

Кроме того, фильтры должны обеспечить возможность очистки необходимого для их собственных нужд количества воды S_{ϕ} . Это количество складывается из количества воды, идущей на промывку фильтров, и потерь воды при сбросе первого фильтрата после промывки:

$$S_{\phi} = 3,6 \ qn \ \Omega \ t_1 + vnt_3 \ \Omega,$$

где q — расчетная интенсивность промывки в л/(с·м²);

n — число промывок в сутки;

Ω — суммарная площадь фильтров в м²;

t_1 — длительность промывки в ч;

v — нормальная скорость фильтрования в м/ч;

t_3 — длительность сброса первого фильтрата в ч.

Полная производительность станции, очевидно, будет равна:

$$S_{\pi} = S + S_{\phi}.$$

С другой стороны, производительность S_{π} должна равняться количеству воды, которое фильтры могут пропустить за время их полезной работы в течение суток при нормальной скорости фильтрования

$$S_{\pi} = v \ \Omega (T - t_2 n),$$

где T — полное время работы станции за сутки (обычно равное 24 ч);

t_2 — длительность перерывов в полезной работе фильтра, связанных с операциями по промывке.

Приравняв выражения для полного количества профильтрованной воды и полной требуемой производительности станции, получим

$$v \Omega (T - t_2 n) = S + 3,6 q n t_1 \Omega + v n t_3 \Omega.$$

Это равенство устанавливает зависимость между полученной (заданной) производительностью очистной станции и полной требуемой площадью фильтров Ω . Отсюда

$$\Omega = \frac{S}{vT - 3,6 q n t_1 - v n t_3 - v n t_3}.$$

Соображения по выбору величин v , q и t_1 даны выше.

Для обычных скорых фильтров исходя из опыта их эксплуатации, как правило, принимают $t_3 = 10$ мин (0,17 ч) и $t_2 = 20$ мин (0,33 ч). Число промывок в сутки n принимают от 2 до 3.

Определив Ω , можно получить по приведенным формулам полную расчетную производительность станции $S_{\text{п}}$, а также затраты воды на собственные нужды фильтров $S_{\text{ф}}$.

Число фильтров N обычно определяют по эмпирической формуле

$$N = 0,5 \sqrt{\Omega}.$$

Установка менее двух фильтров не допускается.

§ 105. РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ

Совершенно очевидно, что по эксплуатационным соображениям желательно обеспечить постоянную производительность фильтра (а следовательно, и постоянную скорость фильтрования). Для этого на линии, отводящей фильтрованную воду, вводят дополнительное сопротивление, которое изменяется (уменьшается) по мере загрязнения фильтра и поглощает весь избыточный напор h_p от H_0 при чистом фильтре до минимально возможной (по конструктивным соображениям) величины h'_p (см. рис. V.33).

В качестве такого переменного дополнительного сопротивления используют различного типа регуляторы скорости фильтрования, работающие автоматически. На некоторых станциях применяют еще ручное регулирование скорости фильтрования, постепенно открывая задвижку, установленную на отводящей линии. При таком регулировании скорость фильтрования в период между операциями с задвижкой снижается.

Как видно из изложенного, в любой момент работы фильтра сумма величин $h + h_p$ постоянна. Необходимость промывки фильтра наступает в тот момент, когда величина h достигает максимального значения, равного $H - h'_p$ (см. рис. V.33).

На рис. V.43 показано устройство автоматического регулятора скорости фильтрования конструкции советского изобретателя Р. М. Лежоева. Вода, прошедшая фильтр, поступает в трубу 1 с суженным сечением, присоединенную непосредственно к нижней камере 2 регулятора, в которой на вертикальном штоке расположен двухседельный дроссельный клапан 3. Верхняя тарелка клапана соединена с эластичной мембраной 4, отделяющей верхнюю камеру 5 от нижней 2. Так как верхняя камера соединена трубой 6 с суженным сечением трубы 1, а нижняя примыкает к ее расширенной части, то давление в камере 5 при движении воды всегда будет меньше, чем в камере 2. Эта разность давлений будет передаваться через мембрану на клапан, стремясь его поднять. Сила, поднимающая клапан, уравнивается силой давления

столба воды H (от уровня воды в колонке 7) на поршень 8 в верхней части клапана.

Всякое увеличение или уменьшение расхода воды, поступающей с фильтра, вызывает немедленно изменение разности давлений в верхней и нижней камерах регулятора и соответствующее передвижение клапана, уменьшающее или увеличивающее его открытие. Этим автоматически поддерживается постоянство расхода и, следовательно, постоянство скорости фильтрования.

Если в процессе эксплуатации оказывается необходимым установить другую скорость фильтрования, это делается путем изменения уровня воды в колонке 7. Небольшое количество воды (5—10 л/ч) непрерывно подается в колонку по трубе 9 и сливается через перелив 10, соединенный с колонкой резиновой трубкой. Поднимая и опуская перелив 10, можно установить требуемый уровень воды в колонке 7. Прибор снабжен рейкой с указателем скоростей фильтрования (соответствующих уровням воды в колонке).

На рис. V.44 приведена схема дроссельного регулятора, который часто неправильно называют также регулятором скорости фильтрования. На трубопроводе, отводящем профиль-

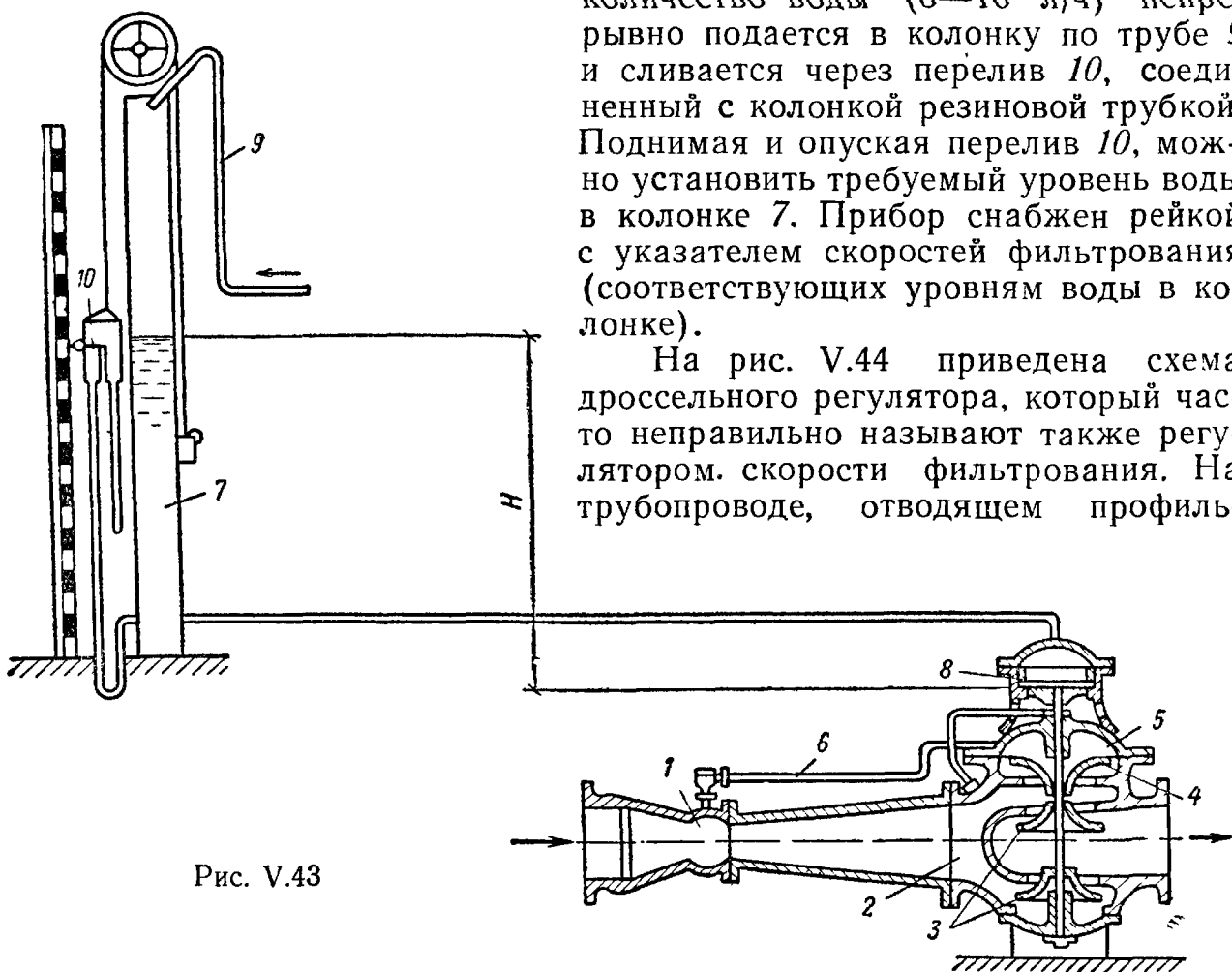


Рис. V.43

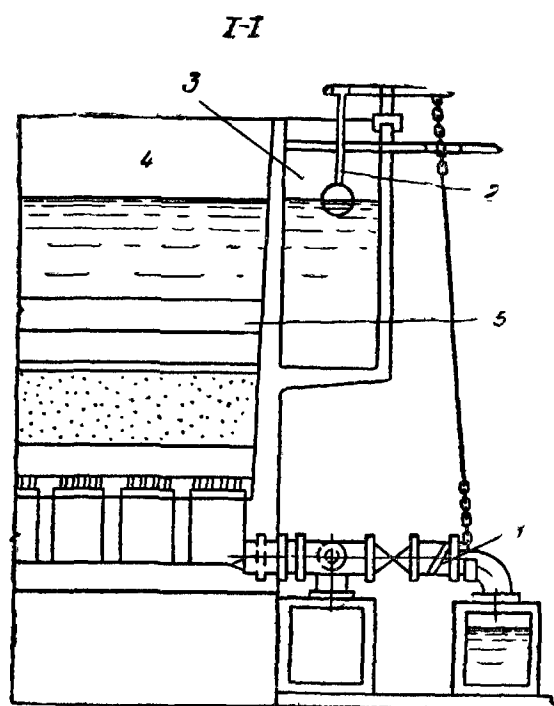
трованную воду, установлен дроссельный клапан 1, связанный при помощи тяг и рычага с поплавком 2, находящимся в подводящем кармане фильтра 3. При повышении уровня воды в фильтре 4 поплавок поднимается, дроссельный клапан открывается на большую величину, создаваемое им сопротивление уменьшается, вследствие чего увеличивается количество проходящей через фильтр воды.

Амплитуда колебаний уровня воды на фильтре при установке дроссельного регулятора значительно уменьшается, а скорость фильтрования меняется в зависимости от изменения количества подаваемой на фильтр воды.

Для сохранения одинаковой скорости фильтрования на всех фильтрах при применении дроссельных регуляторов необходимо обеспечивать правильное распределение между фильтрами воды, поступающей на фильтровальную станцию. Для этой цели можно применять распределительный желоб 5 с водосливами или отверстиями равной величины против каждого фильтра.

Таким образом, в то время как при применении регуляторов скорости фильтрования подача воды на фильтровальную станцию должна точно увязываться с установленной на них скоростью фильтрования, при применении дроссельных регуляторов подачу воды на станцию можно изменять, однако с таким условием, чтобы скорость фильтрования не превышала допустимых пределов.

На рис. V.45 показана схема устройства одного из новых регуляторов скорости фильтрования (системы АКХ). Регулятор 1 представляет



План

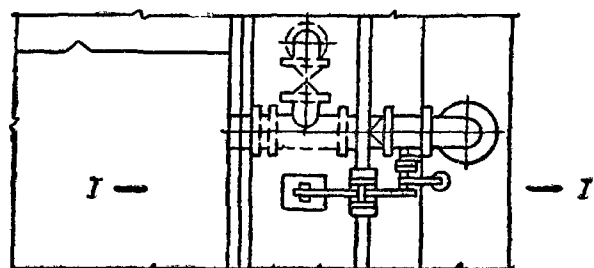


Рис. V.44

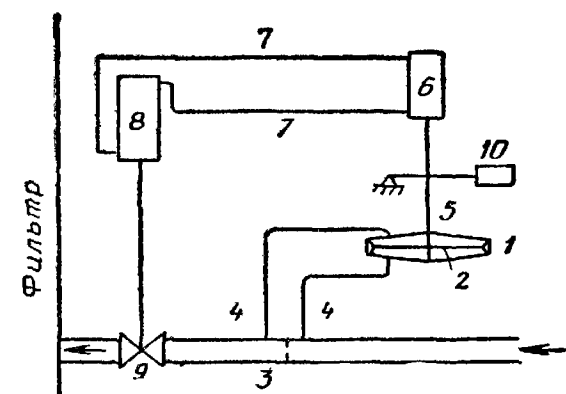


Рис. V.45

собой коробку, разделенную упругой мембраной 2 на две камеры. На трубе, подающей воду на фильтр, установлена диафрагма 3, от которой идут импульсные трубки 4 к верхней и нижней камерам регулятора. Регулятор соединен штоком 5 с золотником 6, от которого идут соединительные трубки 7 к гидроприводу 8, управляющему задвижкой 9 на подающей трубе. Перепад давления на диафрагме, соответствующий заданному расходу подаваемой воды, уравнивается грузом 10. При изменении расхода подаваемой воды (а следовательно, и скорости фильтрования) изменяется перепад давления, что вызывает поднятие или опускание

штока. В результате этого золотник подает воду в верхнюю или нижнюю часть гидропривода задвижки, увеличивая или уменьшая степень ее открытия в той мере, в какой это требуется для поддержания подачи заданного расхода.

§ 106. ОБОРУДОВАНИЕ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ И УПРАВЛЕНИЕ ИХ РАБОТОЙ

Для подачи и отвода воды, а также для управления работой фильтра он должен быть оборудован соответствующими трубами и арматурой.

Схема коммуникаций обычного скорого фильтра показана на рис.

V.46. Вода, прошедшая предварительно отстойники или осветлители, подается к фильтрам по магистральной трубе или каналу I. От этой магистрали к каждому фильтру подводится ответвление 1 с задвижкой 2. Ответвление 1 примыкает к боковому карману 3 фильтра. Из кармана вода через желоба 4 поступает на фильтр.

Вода, прошедшая фильтр, отводится через дренажные трубы 5 и поступает по трубе 6 к магистральной линии II, отводящей чистую воду. Труба 6 обычно непосредственно присоединяется к магистрали дре-

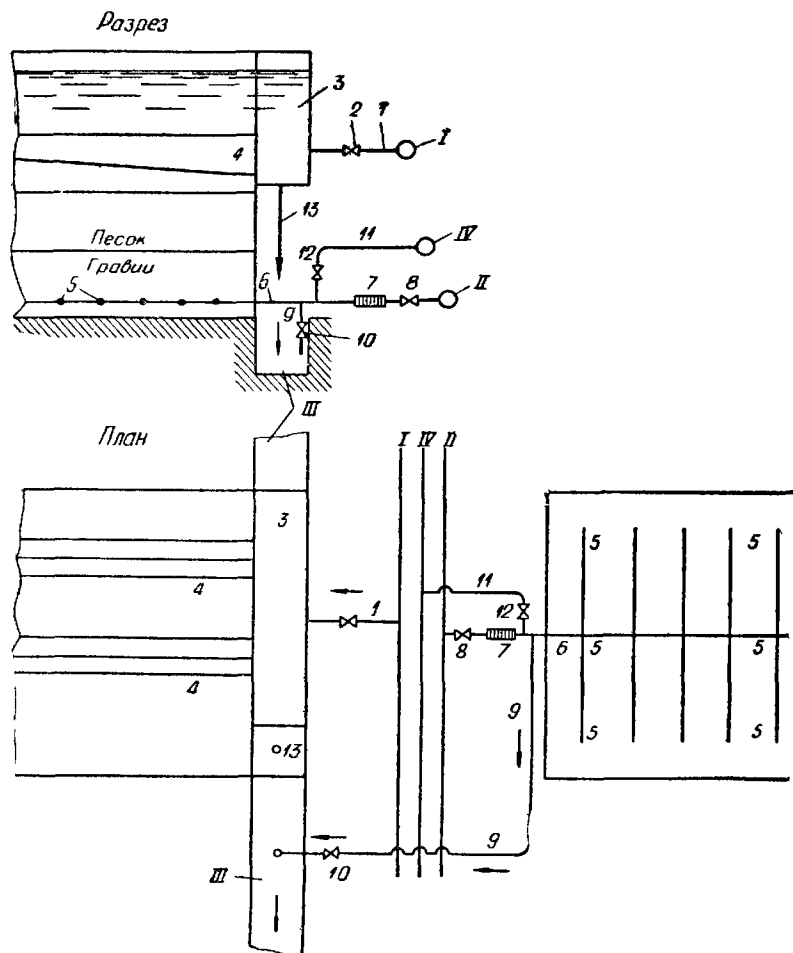


Рис V.46

нажной системы 5. На трубе 6 устанавливаются регулятор скорости фильтрации 7 и задвижка 8. Для сброса первого фильтрата и опорожнения фильтра служит труба 9 с установленной на ней задвижкой 10. Эта труба присоединяется к трубе 6, отводящей чистую воду. По трубе 9 вода сбрасывается в канал III. Промывная вода подается от насосов или от бака по напорной трубе IV через ответвление 11 с установленной на нем задвижкой 12. На фильтр она поступает через систему дренажных труб 5.

Промывная вода, прошедшая через фильтр, удаляется по желобам 4 в сборный карман 3 и из него по вертикальной трубе 13 (через донный клапан) спускается в канал III, отводящий загрязненную воду в водосток.

На плане условно с левой стороны приведен вид фильтра на уровне желобов, с правой стороны — на уровне дренажных труб.

Диаметры труб и сечения каналов, подающих воду на фильтр от отстойников, определяются по скорости примерно 1—1,5 м/с.

Работа фильтра происходит при открытых задвижках 2 и 8 и закрытых задвижках 10 и 12. Осветляемая вода поступает на фильтр

под уровень воды по тем же желобам, по которым отводится промывная вода.

Перед промывкой фильтра закрывают задвижку 2 и срабатывают слой воды над фильтром до уровня кромок желобов. Затем закрывают задвижку 8 и пускают промывную воду, открывая задвижку 12. Закончив промывку, открывают задвижку 2 и пропускают воду на фильтр, а затем открывают задвижку 8, после чего начинается нормальная работа фильтра, или же предварительно в течение некоторого времени сбрасывают первый фильтрат по трубе 9 при открытой задвижке 10.

В современных станциях осветления воды управление работой фильтров полностью механизировано. Наблюдение за работой фильтров и управление задвижками централизованы. Управление всеми операциями по открыванию и закрыванию задвижек, пуску насосов и т. п. производится с пультов. Управление задвижками производится при помощи гидравлической или электрической системы передачи энергии. Схемы управления электрифицированными задвижками значительно проще, чем задвижками с гидравлическим приводом. Регулирование скорости фильтрования также может производиться с пультов управления.

Иногда приборы, измеряющие расход воды и потери напора в фильтрах, снабжаются самопишущими аппаратами.

Кроме того, при помощи вакуум-аппаратов или специальных небольших насосов на стол управления и в лабораторию может непрерывно подаваться фильтрат, проходящий через мутномер, что дает возможность непосредственно контролировать качество воды, прошедшей фильтр.

Советскими научно-исследовательскими институтами и проектными организациями разработаны методы полной автоматизации работы станций или отдельных ее процессов, и в частности процесса промывки¹. Такая автоматизация осуществляется уже на ряде станций.

Выключение фильтра на промывку производится от измерителя потерь напора в фильтре. Одновременно включается реле пуска промывного насоса и соответствующим образом переключаются задвижки, показанные на рис. V.46. После истечения заданного времени промывки происходят новое автоматическое переключение задвижек, остановка промывных насосов и пуск фильтра в работу.

Схема автоматизации промывки фильтров при их большом числе дополняется устройством для автоматического выбора очередности промывки.

Автоматизация процесса промывки фильтров позволяет сократить расходы воды на промывку и значительно облегчить работу обслуживающего персонала.

§ 107. КОНТАКТНЫЕ ОСВЕТИТЕЛИ

Своеобразным сооружением для осветления и обесцвечивания воды являются контактные осветлители. По своей конструкции они близки к фильтрам с песчаной загрузкой, укладываемой на слой гравия или непосредственно на дренажную систему. Вода проходит загрузку снизу вверх, т. е. в направлении уменьшающихся размеров ее зерен (так же, как и в фильтрах АКХ — см. § 108). Коагулянт вводится в обрабатываемую воду непосредственно перед поступлением ее в фильтр. Таким

¹ Описание различных схем автоматизации работы очистных сооружений и автоматических приборов управления и контроля дается в курсе «Автоматизация работы водопроводно-канализационных сооружений».

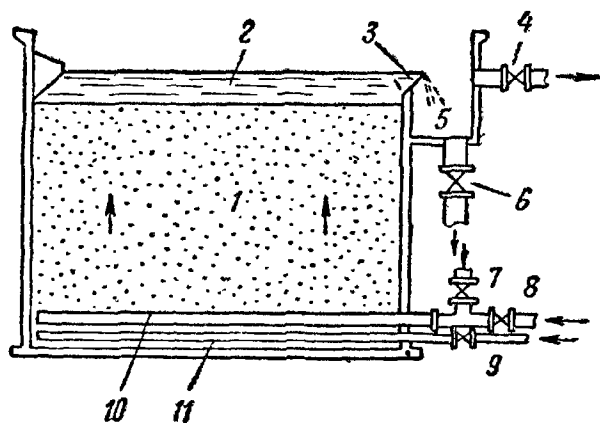
образом, здесь имеет место контактная коагуляция, при которой коллоидные частицы прилипают к зернам загрузки. Это позволяет снизить дозу коагулянта и, следовательно, общий его расход.

Контактные осветлители (разработанные в Академии коммунального хозяйства под руководством проф. Д. М. Минца и А. С. Шуберта) применяются в одноступенчатых установках для очистки маломутных и цветных вод (при содержании в них не более 150 мг/л взвеси, включая образовавшуюся в результате коагулирования).

Разработаны контактные осветлители нескольких типов. В одних (КО-1) отвод фильтрата производится из надзагрузочного слоя воды. В этом случае скорость фильтрования (при среднем размере зерен пес-

Рис. V.47

1 — загрузка; 2 — слой воды над загрузкой; 3 — пескоулавливающий желоб; 4 — отвод осветленной воды; 5 — карман; 6 — сброс промывной воды; 7 — подача промывной воды; 8 — подача осветляемой воды; 9 — подача воздуха; 10 — распределительная система для подачи воды; 11 — то же, воздуха



ка 0,8 мм) не должна превышать 5—5,5 м/ч — во избежание взвешивания песка. В осветлителях КО-2 отвод фильтрата осуществляется из верхней части фильтрующего слоя. Это позволяет повысить расчетную скорость фильтрования (до 10 м/ч), но удорожает систему дренажа.

Для загрузки контактных осветлителей применяется песок с эквивалентным диаметром от 0,9 до 1,1 мм. Зерна песка размером менее 0,5 мм не должны допускаться.

Толщина слоя загрузки принимается не менее 2 м. Потери напора в заиленной загрузке не должны превосходить толщину ее слоя. Толщина слоя гравия 0,35 м.

Промывка загрузки осуществляется также подачей воды снизу вверх. Интенсивность промывки составляет 13—15 л/(с·м²), а объем промывной воды (при наибольшей допустимой мутности исходной воды) — 15% объема осветляемой воды.

Уменьшение расхода промывной воды достигается применением продувки загрузки сжатым воздухом.

Последняя из предложенных (в 1971 г.) конструкций контактных осветлителей КО-3 показана на рис. V.47. Осветлители этого типа также могут устраиваться с гравийным слоем или без него.

Скорость фильтрования в осветлителе КО-3 может приниматься на 10—15% больше, чем в осветлителе КО-1, а расход промывной воды в 1,6—1,8 раза меньше.

Для промывки предусматривается продувка загрузки воздухом с интенсивностью 18—20 л/(с·м²) в течение 1—1,5 мин, затем одновременная с воздухом подача воды [2—3 л/(с·м²)] в течение 6—7 мин и, наконец, промывка одной водой [6—7 л/(с·м²)] в течение 4—6 мин.

К особенностям устройства осветлителя КО-3 относится использование системы «низкого горизонтального отвода» промывной воды. Промывная вода, выходя из слоя загрузки в вертикальном направлении,

меняет это направление на горизонтальное и уходит в карман 5 (рис. V.47), унося с собой загрязнения.

Для обеспечения транспортирующей скорости в начале потока на стенке, противоположной сборному карману, располагается направляющий выступ (рис. V.48). У стенки, к которой примыкает сборный карман, устраивается пескоулавливающий желоб 1, образуемый срезанной кромкой стенки 2 и наклонной отбойной стенкой 3. Внизу желоба оставляется щель 4 шириной $a=1,5-2$ см. В зависимости от величины расхода промывной воды [от 10 до 25 л/(с·м²)] H_1 изменяется от 170 до 320 мм и Δ от 20 до 25 мм.

Поверхность песка должна быть расположена на 20—30 мм ниже нижней кромки стенки 3.

Контактные осветлители в определенных условиях обеспечивают достаточный эффект очистки воды.

§ 108. ФИЛЬТРЫ АКАДЕМИИ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова разработана оригинальная конструкция скорых фильтров, получивших название «фильтры АКХ» и использованных в ряде городских водопроводов. Идея этих фильтров предложена Д. М. Минцем и С. А. Шубертом.

Из анализа работы обычных скорых фильтров видно, что вода, фильтруясь сверху вниз, отлагает загрязнения главным образом в верхнем наиболее мелкозернистом слое песка. Вследствие этого грязеемкость остальной части фильтрующего материала остается неиспользованной. В этих условиях верхние его слои быстро загрязняются, потери напора быстро возрастают, вследствие чего период полезной работы между промывками оказывается незначительным.

В фильтрах АКХ основная масса воды подается на фильтр снизу и проходит сначала нижние, относительно крупнозернистые слои фильтрующего материала, в силу чего загрязнения располагаются в толще фильтра более равномерно, грязеемкость его возрастает, нарастание потерь напора идет медленно и длительность рабочего периода увеличивается. Чтобы воспрепятствовать взвешиванию верхних слоев мелкого песка при относительно больших скоростях восходящего потока воды, некоторая часть воды в фильтрах АКХ подается сверху. Фильтрат отводится системой дренажных труб, расположенных в толще песка на глубине 50—60 см от поверхности (до оси труб). Такой характер работы фильтра позволил назвать его двухпоточным фильтром.

Фильтры АКХ дают возможность увеличить период работы между промывками или повысить скорость фильтрования. Нормальная расчетная (условная) скорость фильтрования, рекомендованная для этих фильтров техническими условиями на их проектирование, составляет 12 м/ч (при этом под расчетной скоростью фильтрования понимается сумма скоростей фильтрования восходящего и нисходящего потоков). Благодаря относительно большой скорости фильтрования площадь этих фильтров значительно сокращается по сравнению с площадью обычных фильтров. Максимальная скорость при форсированной работе станции (промывка, ремонт) не должна превышать 15 м/ч.

К концу цикла количество воды, идущей снизу, достигает 80% всего ее количества.

Для этих фильтров толщина слоя песка принимается от 1,45 до 1,65 м при эквивалентном диаметре $d_0=0,9$ мм.

Для устройства дренажа в теле фильтра рекомендуются щелевые асбестоцементные или винипластовые трубы. Ширина щелей 0,4—0,5 мм.

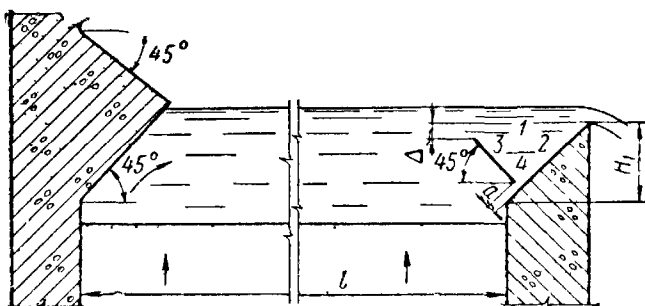


Рис. V.48

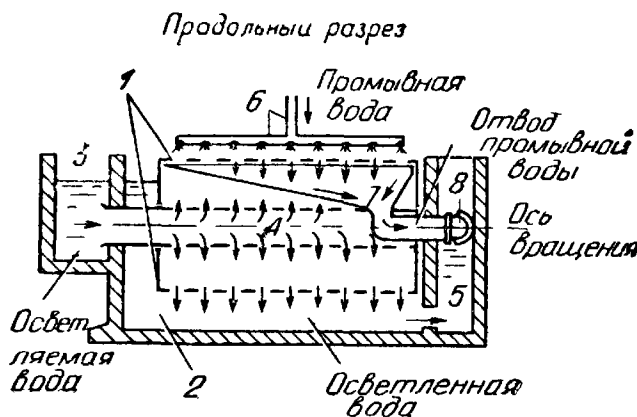


Рис. V.49

Суммарная площадь щелей должна составлять 1,5—2% площади фильтра

Промывка фильтров АКХ производится через нижнюю распределительную систему, выполненную в виде трубчатого дренажа большого сопротивления. Диаметр отверстий принимается в пределах 10—12 мм.

Для промывки фильтров сначала в течение 1—2 мин подается вода через верхний дренаж в количестве 6—8 л/(с·м²) для взрыхления верхнего слоя песка, затем включается основная, нижняя система, работающая с интенсивностью 13—15 л/(с·м²) в течение 6—5 мин; одновременно некоторое количество воды продолжает подаваться через верхний дренаж для предотвращения его засорения. После этого нижняя система выключается и в течение 1—2 мин производится подача воды в верхний дренаж с интенсивностью 10—12 л/(с·м²) для продувки щелей. Максимальный расход воды для промывки фильтров АКХ составляет от 4 до 5,5% объема осветляемой воды (при двух промывках в сутки).

§ 109. МИКРОФИЛЬТРЫ

Микрофильтры успешно используются для задержания планктона, содержащегося в воде поверхностных источников, — особенно в периоды цветения водохранилищ.

Микрофильтр представляет собой барабан в виде металлического каркаса, покрытого по цилиндрической поверхности фильтрующими элементами из поддерживающих и рабочих сеток (из нержавеющей стали).

Схема устройства микрофильтра приведена на рис. V.49. Вращающийся барабан 1 помещен в камеру 2 так, что его верх примерно на $\frac{1}{3}$ диаметра выходит над поверхностью воды. Из подающего канала 3 осветляемая вода поступает по дырчатой трубе 4 (служащей осью вращения) внутрь барабана и профильтровывается через вращающуюся сетку. Осветленная вода удаляется из камеры по каналу 5. Одновременно осуществляется промывка сетки (в ее верхней части) струями воды из напорного промывного устройства 6. Внутри барабана под верхней (промываемой) частью сетки установлен лоток 7 для сбора отработанной промывочной воды, которая отводится по трубе 8, служащей второй опорой вращающегося барабана.

В СССР в настоящее время промышленностью изготавливаются микрофильтры диаметром барабана от 1,5 до 3 м, длиной от 1 до 4,5 м и производительностью от 4 до 45 тыс. м³/сутки.

Интенсивность фильтрования принимается от 10 до 25 л/(с·м²). Рас-

ход промывной воды составляет 1—3% количества фильтруемой воды. Барабан приводится в движение электродвигателем.

На станциях осветления воды городских водопроводов микрофильтры устанавливаются перед смесителями. Вода насосами первого подъема подается в приемную камеру и оттуда на микрофильтры.

§ 110. ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ ВОДЫ, ПОДАВАЕМОЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕЛЕЙ

Грубозернистые фильтры. В ряде случаев речная вода, подаваемая для производственных целей, требует предварительного осветления, хотя и не столь тщательного, как вода, подаваемая в сеть хозяйственно-питьевых водопроводов. Осветление технической воды нередко осуществляют путем фильтрования ее на «грубозернистых» фильтрах (без предварительного отстаивания и без коагулирования) с повышенными скоростями фильтрования (при мутности исходной воды до 300 мг/л). Загрузка таких фильтров состоит из песка или дробленого антрацита с крупностью зерен от 0,8 до 2,5 мм при коэффициенте неоднородности 1,8—2. Увеличение крупности зерен требует одновременного увеличения и толщины слоя фильтрующего материала, так как содержащиеся в воде взвешенные вещества проникают в толщу грубозернистого фильтра значительно глубже, чем в толщу мелкозернистой фильтрующей среды. При указанной крупности зерен необходимая толщина слоя фильтрующего материала лежит в пределах от 1,5 до 3 м. Скорость фильтрования на грубозернистых фильтрах составляет 10—15 м/ч. Верхние пределы

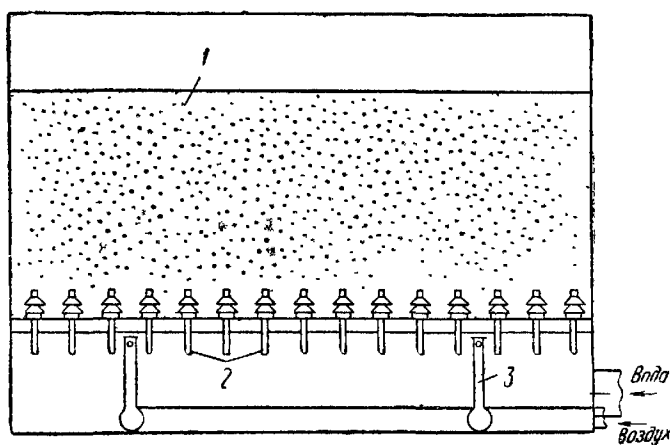


Рис. V.50

1 — фильтрующий слой; 2 — дренажные колпачки;
3 — система воздушных труб

толщины фильтрующего слоя и скорости фильтрования относятся к наиболее крупнозернистой загрузке.

Применение песка значительной крупности позволяет уменьшить толщину поддерживающих слоев или вообще обойтись без них.

Дренаж для фильтров без поддерживающих слоев выполняется при помощи колпачков различных конструкций (см. § 101), располагаемых на дренажном днище фильтра или на трубчатой распределительной системе.

Грубозернистые фильтры по сравнению с обычными требуют значительного увеличения интенсивности промывки. Для сокращения расхода промывной воды применяют одновременную продувку грубозернистых фильтров воздухом.

Схема фильтра с продувкой воздуха показана на рис. V.50. В дре-

нажном днище фильтра на штуцерах располагаются колпачки специальной конструкции. Хвостовые части колпачков, выходящие под дренажное днище, имеют продольные вертикальные щели шириной 0,8—1,5 мм и длиной 50—100 мм. Воздух, подаваемый в междудонное пространство по трубе, имеющей вертикальные отростки, скапливается под дренажным днищем фильтра (которое должно быть строго горизон-

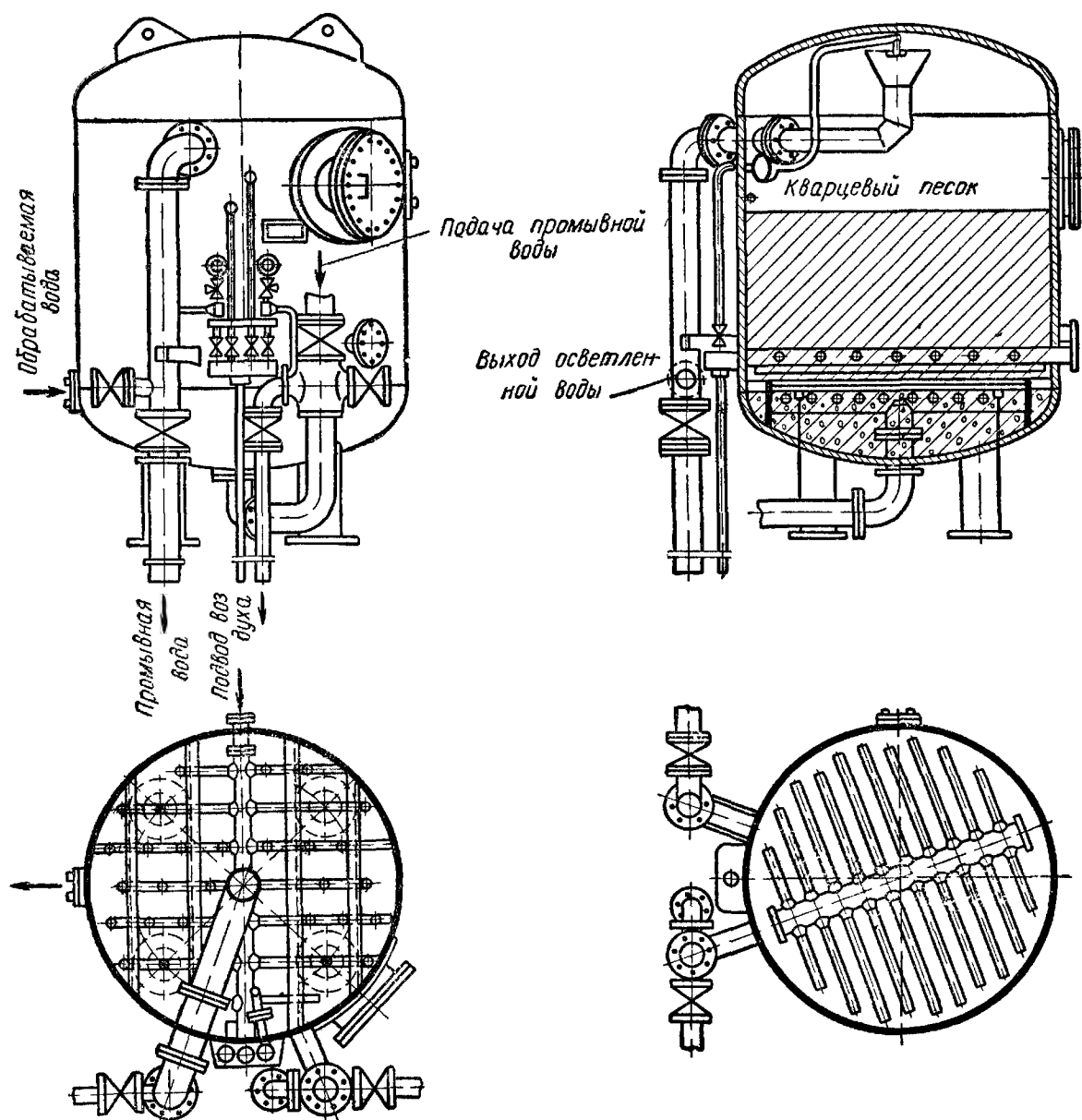


Рис. V.51

тальным), и получающаяся таким образом воздушная подушка вытесняет воду из междудонного пространства через нижние отверстия колпачков, прогоняя ее через толщу песка. Это продолжается до тех пор, пока уровень воды в междудонном пространстве не опустится ниже верха щелей в хвостовой части колпачков. Тогда воздух начинает поступать в щели и через головки колпачков в толщу песка.

При устройстве фильтров без междудонного пространства продувка песка воздухом осуществляется через распределительную трубчатую систему, уложенную на дне фильтра под песком параллельно с трубчатой системой, подающей промывную воду.

Рекомендуется следующий порядок промывки грубозернистых фильтров: взрыхление песка в продолжение 1 мин водой, подаваемой с интенсивностью 6—8 л/(с·м²); затем подача в междудонное пространство

в течение 5 мин одновременно воды [3—4 л/(с·м²)] и воздуха [20—25 л/(с·м²)] ; наконец, отмывка фильтра в течение 2 мин водой, подаваемой с интенсивностью 6—8 л/(с·м²).

Напорные фильтры. Все до сих пор рассмотренные сооружения очистки воды по принципу своей работы являлись самотечными. Поэтому после таких очистных сооружений в систему водоснабжения должна включаться насосная станция второго подъема, а вода подвергаться двойной перекачке.

Применение напорных очистных сооружений, т. е. сооружений, позволяющих проводить через них очищаемую воду под напором насосов (станции первого подъема), дает возможность исключить из системы водоснабжения насосную станцию второго подъема, что значительно сокращает как строительные, так и эксплуатационные расходы. Напорные фильтры находят широкое применение в системах производственных водопроводов, где часто требуемая степень осветления может быть достигнута при помощи одного фильтрования, что позволяет исключить предварительные стадии очистки воды в отстойниках или осветлителях, а иногда и коагулирование.

Как сказано, через напорные фильтры вода пропускается под определенным напором. При этом после прохождения фильтров остается еще достаточный напор для подачи воды в напорный резервуар, башню либо непосредственно в сеть, снабжающую потребителей.

Напорные фильтры выполняются в виде стальных закрытых цилиндрических резервуаров, рассчитанных на заданное внутреннее давле-

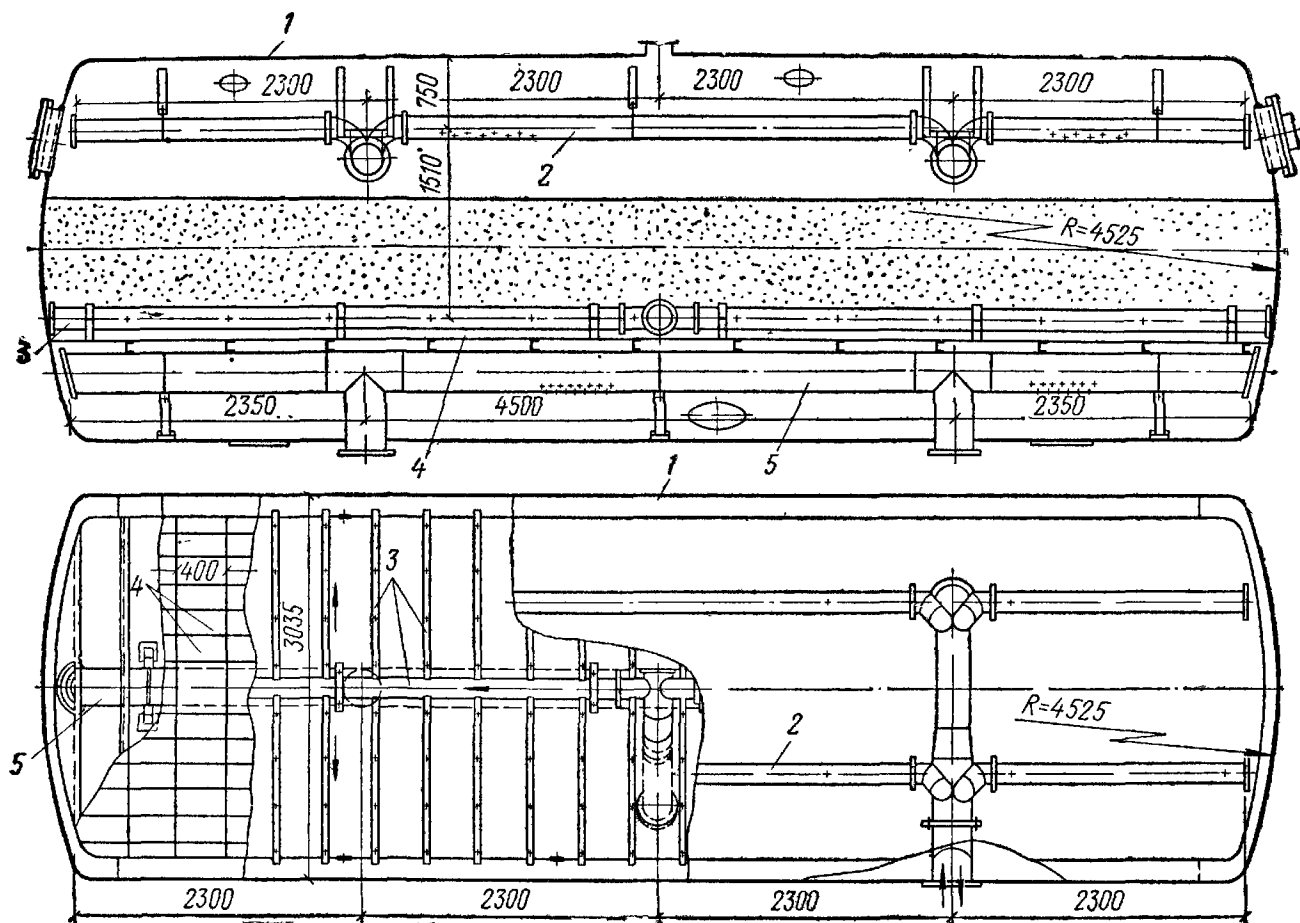


Рис. V.52

1 — корпус фильтра; 2 — верхние дырчатые трубы для распределения фильтруемой и сбора промывной воды; 3 — распределительная система для воздуха; 4 — щелевой дренаж; 5 — нижний дырчатый коллектор

ние. Предельные потери напора в напорных фильтрах принимают обычно равными $0,6—1 \text{ кгс/см}^2$.

Основные элементы и оборудование напорных фильтров те же, что и самотечных, т. е. дренаж, фильтрующие, а иногда и поддерживающие слои, трубы и регулирующая арматура для подачи и отвода фильтруе-

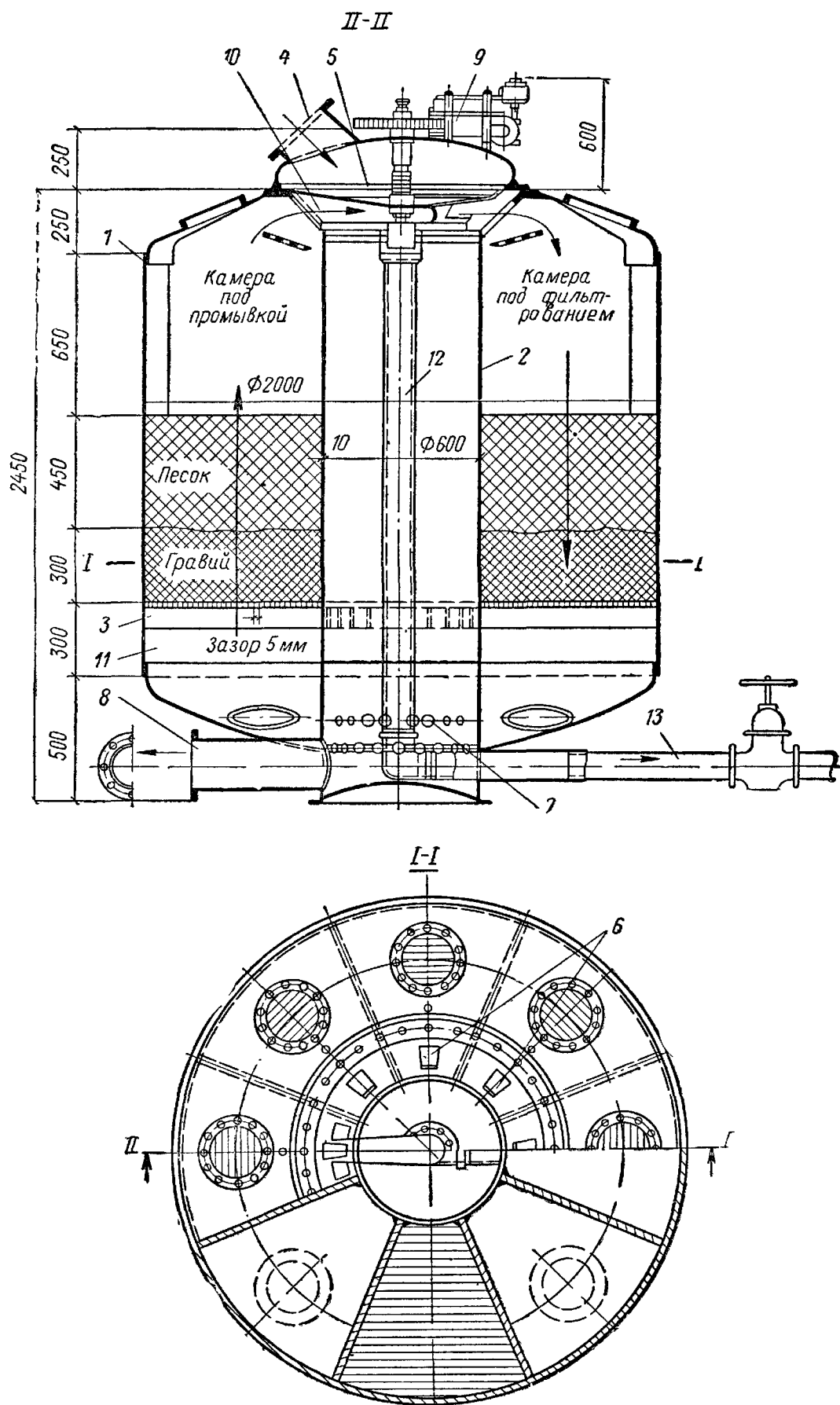


Рис. V.53

мой и промывной воды, а в некоторых случаях устройства для подачи воздуха.

На рис. V.51 показан вертикальный напорный фильтр. Этот фильтр оборудован распределительными трубчатыми системами для отвода осветленной воды, а также подачи промывной воды и сжатого воздуха. Осветляемая вода подается по напорной трубе, заканчивающейся воронкой на расчетной (по условиям промывки) высоте над поверхностью песка. При промывке фильтра через эту же воронку удаляется с фильтра отработанная промывная вода.

Наибольший диаметр изготавливаемых у нас вертикальных фильтров 3,4 м, что соответствует фильтрующей площади около 9 м².

Толщина слоя фильтрующего материала для фильтров всех диаметров принята равной 1 м.

Для станций большой производительности требуется значительное число таких фильтров. В этих случаях может быть целесообразной установка горизонтальных фильтров, которые при том же диаметре могут дать значительно большую площадь фильтрования за счет увеличения длины цилиндра.

На рис. V.52 показан напорный горизонтальный фильтр (по проекту Союзводоканалпроекта), не имеющий поддерживающих слоев. Конструкция дренажа в таких фильтрах аналогична конструкциям дренажей, применяемых для самотечных фильтров без поддерживающих слоев. Для очистки загрузки предусмотрены продувка и промывка.

Сверхскоростные фильтры системы Г. Н. Никифорова. Такой фильтр был предложен в 1933 г.

Сверхскоростные фильтры работают при скоростях фильтрования от 25 до 50 и даже до 100 м/ч. Эти фильтры могут применяться в тех случаях, когда к прозрачности фильтрата не предъявляется особо высоких требований (преимущественно при грубом осветлении воды для производственных нужд). Значительные потери напора на фильтре потребовали пропуска воды через него под напором; быстрое засорение фильтрующего материала привело к созданию особой автоматической системы промывки фильтров.

На рис. V.53 показан сверхскоростной вертикальный фильтр системы Г. Н. Никифорова. Фильтр выполнен в виде металлического резервуара 1 цилиндрической формы. Внутри резервуара располагается другой цилиндр 2 меньшего диаметра. Загрузка расположена в кольцевом пространстве между стенками этих цилиндров. На дренажное днище 3 уложены слои поддерживающего материала (гравия) и затем слой песка. В вертикальном направлении фильтр разделен радиально расположенными вертикальными перегородками на восемь равных камер. Перегородки идут от верха фильтра до дренажного днища. В междудонном пространстве (между дренажным и нижним днищами фильтра) перегородок не имеется.

Вода поступает на фильтр по напорной трубе 4 в распределительный колпак 5 и из него через окна или щели 6 — в камеры фильтра (во все, кроме одной), проходит через загрузку, дренажное днище и из междудонного пространства поступает через отверстия 7 в центральный цилиндр, из которого фильтрат отводится по напорной трубе 8.

В верхней части фильтра вращается (при помощи электродвигателя 9) патрубок 10, приемное отверстие которого последовательно останавливается перед входным окном 6 каждой из камер фильтра. В то время как семь камер работают на фильтрование, та камера, против окна которой остановился патрубок 10, автоматически выключается из рабо-

ты на фильтрование, и поступление воды в нее прекращается. Одновременно с этим вода из междудонного пространства 11 под имеющимся там напором устремляется в выключенную из работы камеру в обратном направлении и промывает фильтрующий материал.

Грязная промывная вода уходит через патрубок 10 в центральный стояк 12 и отводится из фильтра по трубе 13.

Движение патрубка 10 — прерывистое, чередующееся с остановками его приемного отверстия против окна каждой камеры для ее промывки (что осуществляется при помощи специально устроенного зубчатого передаточного механизма).

Движение патрубка обеспечивает постепенное закрывание и открывание окон, т.е. включение или выключение отдельных камер фильтра.

Так как камеры фильтра через междудонное пространство сообщаются друг с другом, в фильтре имеет место постоянная разность давлений в распределительном барабане и сборной шахте (соединенной с междудонным пространством). Таким образом, во всех камерах, работающих на фильтрование, в любой момент суммарные потери напора при прохождении воды через фильтр есть величина постоянная. Так как по мере загрязнения фильтра сопротивление его будет возрастать, то количество проходящей через камеру воды будет соответственно уменьшаться, т.е. скорость фильтрования будет уменьшаться от начальной наибольшей величины v_n (в только что промытой камере) до v_k (в камере перед очередной промывкой).

Для определения производительности фильтра принимают среднюю расчетную скорость фильтрования:

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_n + v_k}{2}.$$

Полный цикл работы рассмотренного фильтра 80 мин, из которых каждая камера 71 мин работает на фильтрование, 6 мин — на промывку и 3 мин — на операции, связанные с промывкой.

Дальнейшее развитие идеи сверхскоростного фильтрования привело к созданию батарей напорных сверхскоростных мешалочных фильтров, автоматически управляемых при помощи электрифицированных задвижек на линиях труб, обслуживающих фильтры.

Глава 21

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ И УНИЧТОЖЕНИЕ В НЕЙ ЗАПАХОВ И ПРИВКУСОВ

§ 111. ЗАДАЧИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Отстаивание и фильтрование воды значительно уменьшают количество содержащихся в ней микроорганизмов, но не дают все же гарантии окончательного их удаления. Даже в хорошо эксплуатируемых очистных сооружениях через фильтры проходит часть бактерий, содержащихся в воде источников. Для окончательного удаления микроорганизмов применяют обеззараживание (дезинфекцию) воды. В современных очистных сооружениях обеззараживание воды производится во всех случаях, когда источник водоснабжения ненадежен с санитарной точки зрения.

Обеззараживанию, как правило, подвергается вода, уже прошед-

шая остальные стадии очистки — коагулирование, отстаивание, фильтрование, так как в осветленной воде отсутствуют частицы взвешенных веществ, в которых могут находиться бактерии, оставаясь таким образом защищенными от действия дезинфицирующих средств.

В некоторых случаях дезинфекция применяется как единственная самостоятельная мера очистки воды (например, при использовании подземных вод, ненадежных с санитарной точки зрения).

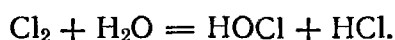
Обеззараживание воды может быть осуществлено при помощи различных мероприятий: хлорирования, озонирования, бактерицидного облучения и др.

В современной практике очистки воды наиболее широкое распространение получила ее дезинфекция путем хлорирования.

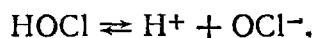
§ 112. ХЛОРИРОВАНИЕ ВОДЫ

Для хлорирования воды на водопроводных очистных станциях используется жидкий хлор и хлорная известь (для станций малой производительности).

Хлорирование воды жидким хлором. При введении хлора в воду образуются хлорноватистая и соляная кислоты



Далее происходит диссоциация образовавшейся хлорноватистой кислоты



Получающиеся в результате диссоциации хлорноватистой кислоты гипохлоритные ионы OCl^- обладают наряду с недиссоциированными молекулами хлорноватистой кислоты бактерицидным свойством.

Сумму $\text{Cl}_2 + \text{HOCl} + \text{OCl}^-$ называют свободным активным хлором.

При наличии в воде аммонийных соединений или при специальном введении в воду аммиака (аммонизация воды — см. § 114) образуются монохлорамины NH_2Cl и дихлорамины NHCl_2 , также оказывающие бактерицидное действие, несколько меньшее, чем свободный хлор, но более продолжительное. Хлор в виде хлораминов в отличие от свободного называется связанным активным хлором.

Количество активного хлора, необходимого для обеззараживания воды, должно определяться не по количеству болезнетворных бактерий, а по всему количеству органических веществ и микроорганизмов (а также и неорганических веществ, способных к окислению), которые могут находиться в хлорируемой воде.

Правильное назначение дозы хлора является исключительно важным. Недостаточная доза хлора может привести к тому, что он не окажет необходимого бактерицидного действия; излишняя доза хлора ухудшает вкусовые качества воды. Поэтому доза хлора должна быть установлена в зависимости от индивидуальных свойств очищаемой воды на основании опытов с этой водой.

Расчетная доза хлора при проектировании обеззараживающей установки должна быть принята исходя из необходимости очистки воды в период ее максимального загрязнения (например, в период паводков).

Показателем достаточности принятой дозы хлора служит наличие в воде так называемого остаточного хлора (остающегося в воде от введенной дозы после окисления находящихся в воде веществ). Согласно требованиям ГОСТ 2874—73, концентрация остаточного хлора в воде

перед поступлением ее в сеть должна находиться в пределах 0,3—0,5 мг/л.

За расчетную следует принимать ту дозу хлора, которая обеспечивает указанное количество остаточного хлора. Расчетная доза назначается в результате пробного хлорирования.

Для осветленной речной воды доза хлора обычно колеблется в пределах 1,5—3 мг/л; при хлорировании подземных вод доза хлора чаще всего не превышает 1—1,5 мг/л; в отдельных случаях может потребоваться увеличение дозы хлора из-за наличия в воде закисного железа.

При повышенном содержании в воде гуминовых веществ требуемая доза хлора возрастает.

При введении хлора в обрабатываемую воду должны быть обеспечены хорошее смешивание его с водой и достаточная продолжительность (не менее 30 мин) его контакта с водой до подачи ее потребителю. Хлорирование уже осветленной воды обычно производят перед поступлением ее в резервуар чистой воды, где и обеспечивается необходимое для их контакта время.

Вместо хлорирования воды после отстойников и фильтров в практике водоочистки иногда применяют хлорирование ее перед поступлением на отстойники (предварительное хлорирование) — до смесителя, а иногда перед подачей на фильтр.

Предварительное хлорирование способствует коагуляции, окисляя органические вещества, которые тормозят этот процесс, и, следовательно, позволяет уменьшить дозу коагулянта, а также обеспечивает хорошее санитарное состояние самих очистных сооружений. Предварительное хлорирование требует повышения доз хлора, так как значительная часть его идет на окисление органических веществ, содержащихся в еще неосветленной воде.

Вводя хлор до и после очистных сооружений, можно снизить общий расход хлора по сравнению с расходом его при предварительном хлорировании, сохранив преимущества, даваемые последним. Такой метод носит название двойного хлорирования.

Хлор поступает на станции в металлических баллонах в сжиженном состоянии под давлением 6—8 кгс/см². Стандартные баллоны содержат 25—40 (малые) и 100 (большие) кг жидкого хлора¹.

Из баллонов хлор подается в воду через специальные приборы — хлораторы (газодозаторы), в которых осуществляется его дозирование и смешивание с некоторым количеством воды. Получаемая «хлорная вода» поступает в обрабатываемую воду.

Существуют различные системы хлораторов: одни из них рассчитаны на непрерывную подачу определенных количеств газа в единицу времени (хлораторы непрерывного действия), другие — на отмеривание определенных порций газа (порционные). Существуют также хлораторы, автоматически меняющие количество подаваемого хлора при изменении расхода обрабатываемой воды.

Кроме того, различают хлораторы напорные и вакуумные. Недостатком напорных хлораторов является возможность утечки из них хлора. Ввиду ядовитости хлора утечка его представляет опасность для обслуживающего персонала. Эта опасность устранена в вакуумных хлораторах. В них газ находится под давлением ниже атмосферного, что исключает возможность его утечки в помещение. В силу этого вакуумные хло-

¹ На станциях большой производительности хлор (поставляемый в железнодорожных цистернах) обычно хранят в металлических бочках емкостью 700—3000 кг.

раторы рекомендуются для преимущественного использования в установках для обеззараживания воды.

Хлор прежде всего поступает в промежуточный баллон, в котором он переходит из жидкого в газообразное состояние и где отделяются загрязняющие хлор примеси. Из промежуточного баллона хлор поступает в хлоратор. Для дополнительного контроля за расходом хлора баллон с ним устанавливается на весах.

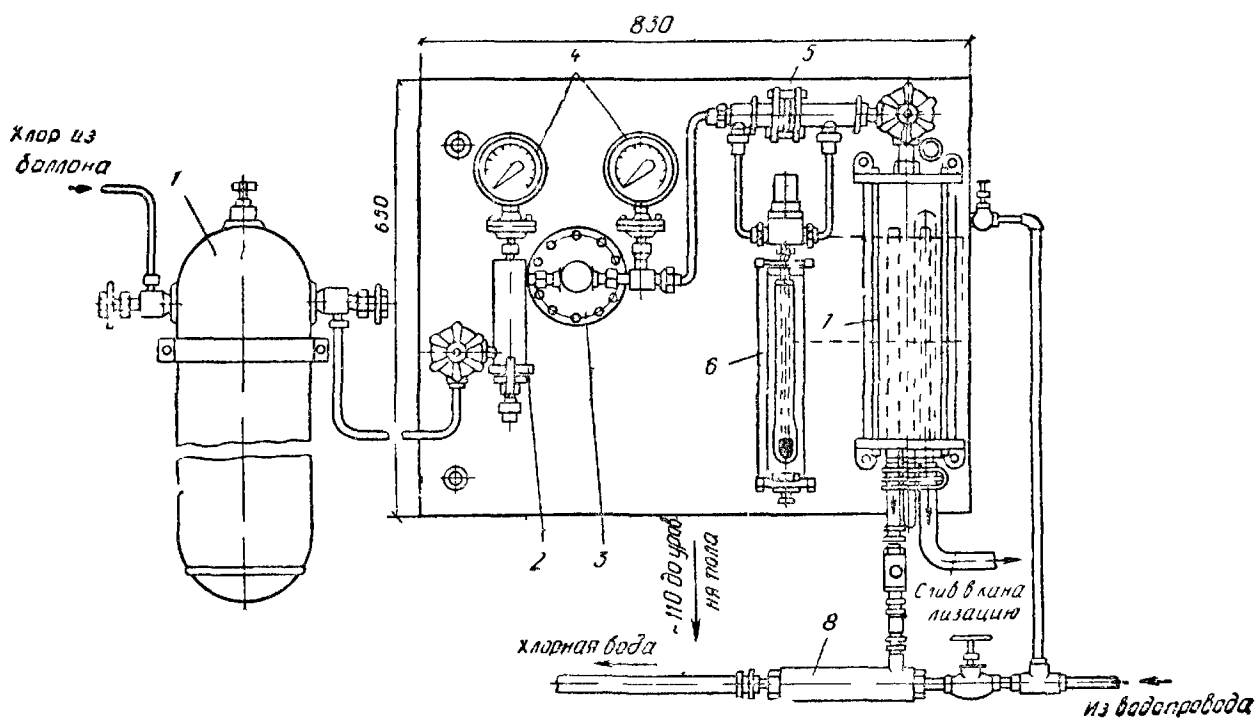


Рис. V.54

На рис. V.54 показано устройство вакуумного хлоратора ВНИИГС. В состав его входят: промежуточный баллон с хлором 1; фильтр 2; редукционный клапан 3, который понижает давление в трубке, подающей хлор; манометры 4; измерительная шайба 5; показатель дозы хлора 6; смеситель 7; эжектор 8, создающий разрежение в хлораторе.

Так как из одного баллона (при комнатной температуре) может быть получено лишь около 0,5—0,7 кг хлора в 1 ч, то при большом общем расходе хлора может возникнуть необходимость одновременного использования значительного числа баллонов. Во избежание этого принимают меры по увеличению съема хлора с баллонов, обогревая их нагретым воздухом или водой. Этим путем можно увеличить съем хлора с одного баллона до 10 кг в 1 ч.

Однако на крупных водоочистных станциях этих мероприятий оказывается все же недостаточно и наиболее целесообразно применять для хлора большеемкую тару.

Наряду с приведенным типом хлоратора в нашей практике получили применение вакуумные хлораторы системы проф. Л. А. Кульского, выпускаемые промышленностью. Эти хлораторы изготовляются различной производительности — от 0,04 до 25 кг хлора в 1 ч.

При проектировании и эксплуатации хлораторных установок надо учитывать требования, направленные на предохранение обслуживающего персонала очистной станции от вредного действия хлора. Помещение хлораторной должно быть расположено в первом этаже и либо примыкать к зданию фильтровальной или насосной станции, либо находиться в отдельном здании (на весьма больших установках). В помещении

хлораторной, примыкающем к зданию фильтровальной станции, должно быть две двери: одна — ведущая в помещение станции, другая — ведущая наружу. Двери должны герметически закрываться. Помещение хлораторной должно иметь хотя бы одно окно. Необходимо предусмотреть систему искусственной вытяжной вентиляции.

Если в сутки расходуется более трех баллонов жидкого хлора, то при хлораторной или вблизи нее на территории станции устраивают дежурный склад баллонов, рассчитанный на хранение трехсуточного запаса хлора. Должна быть обеспечена возможность подогревания баллонов на складе перед доставкой их в хлораторную.

Хлорирование воды хлорной известью. Использование хлорной извести, активным компонентом которой является гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, может быть допущено лишь на станциях малой (до 3 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$) производительности.

Техническая хлорная известь содержит 25—30% активного хлора.

В результате введения в воду хлорной извести, как и при введении в нее хлора, получаются хлорноватистая кислота HOCl и гипохлоритные ионы OCl^- . Для приготовления раствора хлорной извести применяют установку, аналогичную установке, в которой производится приготовление раствора коагулянта. В состав ее входят баки, куда засыпают хлорную известь и добавляют воду. Известковое молоко поступает в рабочие баки, где готовится раствор концентрацией до 1—2%. При приготовлении раствора он перемешивается механическими мешалками. Из рабочих баков хлорная вода через дозировочные устройства вводится в дезинфицируемую воду.

§ 113. ПЕРЕХЛОРИРОВАНИЕ И ДЕХЛОРИРОВАНИЕ

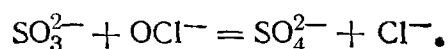
В практике водоочистки применяют иногда хлорирование воды дозами хлора, значительно превышающими обычно требуемые для ее дезинфекции, т. е. так называемое перехлорирование. Дозу хлора в этом случае принимают равной 5—10 мг/л и более.

Если качество воды источника подвержено резким и быстрым изменениям, то хлорирование воды обычным методом может не обеспечить ее надежного обеззараживания. Периодическое ухудшение качества исходной воды может оказаться неучтенным лабораторией, вследствие чего снизится качество подаваемой в сеть воды. В таких случаях употребление избыточных доз хлора создает гарантию надежности обеззараживания воды. Перехлорирование применяют так же, как меру борьбы с цветностью воды, с запахами и привкусами в природной воде.

При перехлорировании хлор вводят в воду перед очистными сооружениями; при этом количество хлора, остающегося в воде после прохождения ею всех очистных сооружений, бывает еще настолько велико, что вызывает ухудшение ее вкуса. Поэтому при перехлорировании требуется последующее удаление избыточных количеств хлора из воды до подачи ее в сеть.

Последний процесс называется дехлорированием и осуществляется введением в хлорированную воду веществ, способных связывать избыточный хлор. В качестве таких веществ можно применять гипосульфит натрия (серноватисто-кислый натрий $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), сернистый газ SO_2 , сульфит натрия Na_2SO_3 и др.

Процесс дехлорирования при использовании сульфита натрия идет по уравнению

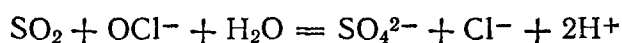


На 1 мг удаляемого хлора требуется 1,8 мг безводного сульфита натрия или 3,6 мг $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Гипосульфит подают в воду в виде 1—1,5%-ного раствора, приготовляемого в баках, подобных бакам, применяемым при коагулировании.

Сульфит натрия как средство для дехлорирования имеет тот недостаток, что может быть бактериально загрязнен, и, следовательно, при его использовании не исключена возможность повторного загрязнения воды микроорганизмами.

В этом отношении имеет преимущество применение для дехлорирования сернистого газа как химически чистого продукта. Дозирование его производится газодозаторами той же конструкции, что и для хлора. При введении в воду сернистого газа реакция дехлорирования протекает следующим образом:



и ведет к полному удалению хлора.

Для дехлорирования применяют также фильтрование на угольных фильтрах. Для загрузки угольных фильтров может быть использован активированный уголь. Активированный уголь (изготавливаемый различными способами) имеет благодаря своей большой пористости весьма значительную поверхность и, следовательно, повышенную активность в отношении задержания хлора, содержащегося в фильтруемой через него воде. Высоту слоя угля назначают в зависимости от заданных начальной и конечной концентраций содержащегося в воде хлора и скорости фильтрования. Практически высоту слоя угля принимают около 2,5 м, скорость фильтрования — в пределах 20—30 м/ч, крупность зерен угля — 1,5—2,5 мм.

Так как на угольном фильтре протекают и процессы адсорбции, поверхность зерен угля после некоторого времени его работы покрывается слоем сорбированных веществ, препятствующих работе фильтра, вследствие чего требуется его регенерация. Для регенерации фильтр промывают горячим раствором кальцинированной соды или едкого натра примерно 1 раз в месяц.

Хлорирование большими дозами хлора применяют также в системах водоснабжения промышленных предприятий, использующих воду для охлаждения (в частности, на тепловых электростанциях). Здесь хлорирование имеет целью борьбу с биологическим обрастанием стенок труб охлаждающих устройств и аппаратуры. При громадных количествах охлаждающей воды, подвергаемой хлорированию, более экономичным оказывается применение не непрерывного, а периодического хлорирования. В зависимости от качества воды и интенсивности процессов биологического обрастания хлорирование может производиться ежедневно при промежутках в несколько часов или с интервалом в несколько дней. Доза хлора назначается в зависимости от окисляемости воды и находится в пределах 1,5—6,5 мг/л (а иногда и выше). Дозу и режим хлорирования в каждом отдельном случае следует назначать после проведения пробного хлорирования воды используемого источника. При хлорировании охлаждающей воды нужно, чтобы содержание остаточного хлора в воде, выходящей из наиболее удаленного теплообменного аппарата, равнялось 0,5—1 мг/л.

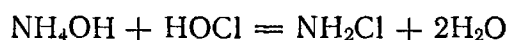
В большинстве случаев в подобных установках осуществляется непрерывное приготовление хлорной воды (обычным путем) и накопление ее в баке, емкость которого рассчитана на один период хлорирования. Из бака хлорная вода в заданное время подается в охлаждающую воду.

§ 114. ХЛОРИРОВАНИЕ С АММОНИЗАЦИЕЙ

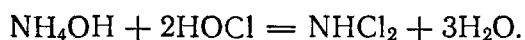
Как было сказано, введение в воду хлора вызывает появление в ней специфических хлорных запахов и привкусов. Они ощущаются уже при содержании в воде хлора в количестве 0,3—0,4 мг/л. Кроме того, если в исходной воде содержатся некоторые вещества (хотя бы в самых ничтожных дозах), например фенолы, введение в нее хлора вызывает появление в ней сильных неприятных запахов и привкусов. Для борьбы с этими запахами и привкусами применяют аммонизацию воды, т. е. вводят в воду аммиак или его соли одновременно с хлором.

Для обеспечения более длительного бактерицидного действия хлора, а также для предотвращения появления в воде хлорфенольных запахов и привкусов применяют предварительную аммонизацию, т. е. аммиак вводят в воду раньше хлора. Для борьбы с хлорными запахами и привкусами аммиак вводят в воду позже хлора, перед ее поступлением в резервуар чистой воды.

При аммонизации процесс хлорирования протекает несколько иначе. При взаимодействии аммиака (его водного раствора NH_4OH) с хлорноватистой кислотой HOCl , образующейся при хлорировании воды, получаются хлорамины, например



или



Хлорамины изменяют характер взаимодействия хлора с фенолами и препятствуют образованию хлорфенольных запахов. В то же время они в известной мере ослабляют бактерицидное действие хлора, но удлиняют период этого действия. Соотношение доз аммиака и хлора зависит от физико-химических свойств воды и устанавливается в каждом случае опытным путем.

При аммонизации должен быть обеспечен контакт воды с хлором продолжительностью не менее 1 ч, т. е. более длительный, чем при использовании одного хлора.

Для введения и дозирования аммиака применяют дозаторы (аммонизаторы), подобные хлораторам, но выполненные из материалов, устойчивых по отношению к аммиаку, и имеющие некоторые конструктивные особенности. Газообразный аммиак доставляется на станцию в баллонах. Кроме аммиака для аммонизации используют также сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Применение хлорирования с аммонизацией является также эффективным средством борьбы с развитием бактериальной жизни в трубах водопроводной сети и, в частности, с железобактериями, вызывающими зарастание труб.

§ 115. ОЗОНИРОВАНИЕ ВОДЫ

Использование озона для обработки воды, в частности для ее обеззараживания, получает в настоящее время широкое распространение.

Озонирование осуществляется пропуском через воду озонированного воздуха, т. е. воздуха, в котором кислород частично переведен в трехатомную форму (O_3).

Озон обладает высокой бактерицидностью и обеспечивает надежное обеззараживание воды (после ее осветления). Он обладает рядом преимуществ по сравнению с хлором — получается непосредственно на

станции очистки воды, не ухудшает вкусовых качеств воды, не ведет к возникновению в ней запахов.

Озон токсичен: предельно допустимое содержание его в воздухе помещений, где находятся люди, составляет $0,00001$ мг/л. В связи с этим в озонаторных установках должны быть приняты все меры по предотвращению возможности проникновения озона в помещение.

Доза озона для обеззараживания воды колеблется в пределах от $0,6$ до $3,5$ мг/л (в зависимости от свойств обрабатываемой воды).

Атмосферный воздух, забираемый для производства озона, должен быть очищен от пыли, а также осушен. Наличие влаги в используемом воздухе вызывает увеличение расхода энергии, затрачиваемой на получение озона

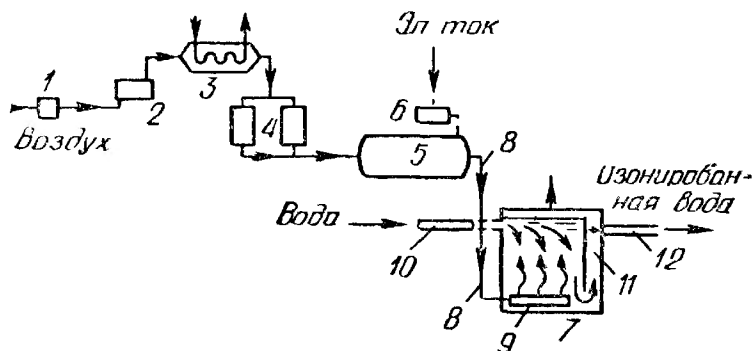


Рис. V 55

Упрощенная схема озонаторной установки показана на рис. V.55. Воздух забирается через фильтр 1 и компрессором 2 подается в охладитель 3, проходит через устройства для осушения 4 и поступает в озонаторы 5. Охлаждение и осушение воздуха осуществляются различными методами. Озон получается в результате тихого электрического разряда в воздухе. Ток подается к озонаторам через трансформаторы 6. Генераторы озона различных систем серийно изготавливаются промышленностью.

Для смешения воды с озоном служат смесители (контактные резервуары) 7. Озон (вместе с воздухом) подается туда по трубопроводу 8 через распределительную систему 9. Подача озона в воду может осуществляться через систему пористых труб, эжекторами и др. Обрабатываемая вода поступает в смеситель по трубе 10. Контакт воды с мельчайшими пузырьками озона происходит в условиях противотока.

Озонированная вода поступает в карман (отсек 11) и отводится по трубе 12 в резервуар чистой воды.

Расход электроэнергии на производство озона колеблется в широких пределах и в значительной степени зависит от применения и степени осушения воздуха. При хорошо осушенном воздухе расход энергии составляет $13\text{--}29$ квт·ч на 1 кг озона; при отсутствии осушения он возрастает в $2\text{--}3$ раза.

Проведенные исследования и опыт показывают возможность использования озона для борьбы с вирусами.

Как сказано далее (§ 117), озонирование успешно используется также для обесцвечивания воды, борьбы с запахами и привкусами в ней.

В ряде случаев применение озона является целесообразным для комплексного решения указанных задач — обеззараживания, обесцвечивания, борьбы с привкусами и запахами.

Наконец, озонирование может использоваться для удаления из воды солей железа и марганца.

§ 116. БАКТЕРИЦИДНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ ВОДЫ

Уничтожение бактерий, находящихся в воде, может быть достигнуто путем обработки воды ультрафиолетовыми лучами. Бактерицидным действием обладают в основном ультрафиолетовые лучи с длиной волны в промежутке $2200\text{—}2800\text{ \AA}$.

Различные виды бактерий имеют различную степень сопротивляемости действию бактерицидных лучей, что учитывается коэффициентом сопротивляемости бактерий, определяемым в результате исследований.

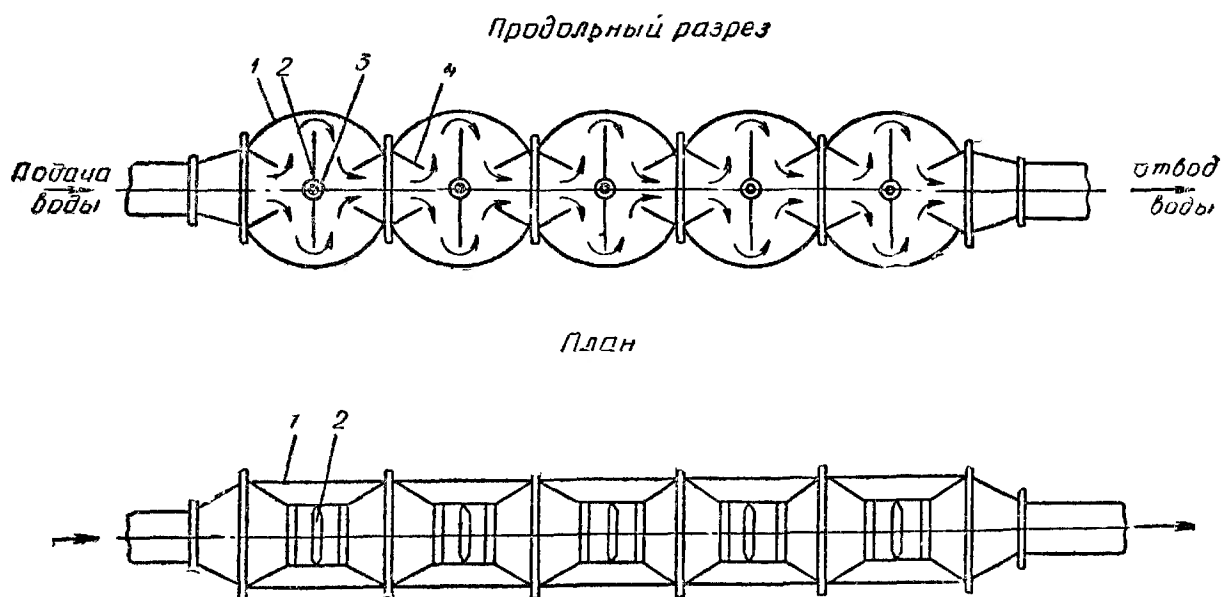


Рис. V.56

Процесс обеззараживания воды бактерицидными лучами осуществляется на специальных установках, в которых вода относительно тонким слоем обтекает источники бактерицидного излучения — ртутно-кварцевые или аргоно-ртутные лампы. Вода, подвергаемая облучению, должна обладать наибольшей проницаемостью для бактерицидных лучей, т. е. быть возможно более прозрачной.

Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова разработаны технологические схемы, методы расчета и ряд аппаратов для обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами (для станций небольшой производительности).

Обеззараживающие установки устраиваются напорными и безнапорными.

На рис. V.56 представлено схематическое устройство напорной обеззараживающей установки, состоящей из нескольких (двух—пяти) камер 1, по которым последовательно проходит обрабатываемая вода. В каждой камере установлена ртутно-кварцевая лампа 2, заключенная в цилиндрический кварцевый кожух 3. Вода, попадая в камеру, направляется радиально расположенными перегородками 4, обеспечивающими ее перемешивание и прохождение вблизи ламп.

Производительность такой установки в зависимости от числа камер равна $30\text{—}150\text{ м}^3/\text{ч}$. Конструкция установки допускает внутреннее давление воды до $5\text{ кгс}/\text{см}^2$.

При расчете бактерицидной установки прежде всего определяют требуемую мощность потока бактерицидного излучения (в Вт):

$$F_6 = \frac{Q\alpha k \lg \frac{P}{P_0}}{1563,4\eta_{\text{п}} \eta_0},$$

где

Q — расчетный расход воды в м³/ч;

α — коэффициент поглощения облучаемой воды в см⁻¹, принимаемый от 0,1—0,15 см⁻¹ для чистых бесцветных подземных вод до 0,3 см⁻¹ для осветленных поверхностных вод;

k — коэффициент сопротивления облучаемых бактерий, принимаемый обычно равным 2500 мкм·Вт·с/см²;

P и P_0 — коли-индекс воды соответственно до облучения и после облучения (последний по ГОСТ 2874—73 не должен быть больше трех);

$\eta_{\text{п}}$ — коэффициент использования потока бактерицидного излучения, зависящий от типа установки;

η_0 — коэффициент использования бактерицидного облучения; оба последних коэффициента принимаются обычно равными 0,9.

Определив F_6 и зная мощность потока $F_{\text{л}}$, испускаемого одной лампой, получим требуемое число ламп:

$$n = \frac{F_6}{F_{\text{л}}}.$$

Метод обеззараживания воды бактерицидными лучами имеет ряд преимуществ по сравнению с методом хлорирования: относительная простота эксплуатации, отсутствие необходимости введения в дезинфицируемую воду каких-либо реагентов, отсутствие ухудшения вкусовых качеств воды.

Расход электроэнергии на облучение составляет для подземных вод 10—15 Вт·ч/м³, для осветленных поверхностных вод — до 30 Вт·ч/м³.

Стоимость обеззараживания воды бактерицидными лучами не превышает стоимости хлорирования.

К недостаткам метода следует отнести отсутствие простых и надежных способов контроля за эффектом обеззараживания и невозможность использования метода для обеззараживания вод, отличающихся повышенной мутностью и цветностью.

§ 117. УНИЧТОЖЕНИЕ ЗАПАХОВ И ПРИВКУСОВ В ВОДЕ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Содержащиеся в воде природных источников различные вещества, а также микроорганизмы могут придавать ей неприятные запахи и привкусы, ухудшающие качество воды и препятствующие использованию ее для питьевых целей.

Весьма часто наличие запахов и привкусов в природной воде обусловливается выделением в результате жизнедеятельности и отмирания находящихся в воде микроорганизмов и водорослей пахнущих веществ. Для борьбы с этими запахами и привкусами можно применять хлорирование. Малые дозы хлора, вызывая отмирание микроорганизмов, могут увеличить запах; лишь увеличенные дозы хлора, достаточные для окисления органических веществ и микроорганизмов, приводят в некоторых случаях к уничтожению запахов и привкусов.

Если хлорирование воды проводится для целей обеззараживания, то